

3-2 車両(索引動力技術の改造 研究指導)電気機関車

総括 川添雄司 日本国有鉄道車両設計事務所

団員 森口真一 日本国有鉄道車両設計事務所

団員 佐藤芳彦 日本国有鉄道車両設計事務所

目 次

I 調査行程	201
II 中国電気機関車概況	202
III 走行抵抗と引張力 (中国側条件の検討)	204
IV 韶山3型電気機関車走行 シミュレーション結果	205
V 電気機関車講義内容及び質疑応答	205
VI 調査結果のまとめ	209

I 調査行程

日 順	月 日	曜 日	行 程	調 査 内 容
1	7.21	月	東京 (9 : 30) → JAL783 → 北京 (14 : 30)	出発及び到着、荷物整理
2	7.22	火	中国鉄道部及び日本大使館挨拶、行程打合せ	表敬訪問、調査行程の中国側との打合せ
3	7.23	水	講義、豊台内燃機関区調査	中国側 EL 概況説明、DEL 構造及び検修方法調査
4	7.24	木	北京 (8 : 57 9 列車) → 宝鷄	
5	7.25	金	宝鷄着 (8 : 02) 宝鷄機関区調査技術討論	韶山 1 形および 6 G 形機関車部品、構造及び検修方法調査、それらに対する討論
6	7.26	土	宝鷄→秦嶺間電気機関車添乗、宝鷄→西安	30% 区間の運転状況、機関車負荷状態調査
7	7.27	日	西安 (17 : 20 136 列車) → 永濟 (20 : 50)	
8	7.28	月	永濟工場調査、技術討論、永濟発 (20 : 53 136 列車)	電動機、サイリスタ等の製造行程、設備調査及びそれらに対する討論
9	7.29	火	永濟→北京 (16 : 14 着)	
10	7.30	水	講義資料準備	
11	7.31	木	講義	
12	8.1	金	講義	
13	8.2	土	資料整理、川添備用靴備	日本の電気機関車技術と発展の方向、主回路及び制御回路設計
14	8.3	日	休息、川添帰国 (14 : 10 JAL 184 便)	主回路及び制御回路設計
15	8.4	月	講義	
16	8.5	火	講義	補助回路設計、台車の構造
17	8.6	水	講義	台車の構造、中国側主電動機紹介
18	8.7	木	講義	主電動機設計
19	8.8	金	講義	電気機器設計 (真空しゃ断器、主変圧器、主整流器)
20	8.9	土	資料整理	電気車の性能
21	8.10	日	休息	
22	8.11	月	講義、技術討論	電気機関車検査及び試験方法
23	8.12	火	資料整理、北京市地下鉄調査	地下鉄車両及び線路状況調査
24	8.13	水	鉄道科学研究所訪問、技術討論	実験線、試験設備等の調査、誘導電動機駆動についての討論
25	8.14	木	北京 (11 : 33 1 列車) → 長沙	
26	8.15	金	長沙着 (9 : 44) 株州電力機工場調査	韶山 1 形電気機関車製作工程調査
27	8.16	土	株州電力機車研究所訪問、技術討論	半導体研究施設調査、電気機関車技術についての討論
28	8.17	日	長沙 (11 : 01 6 列車) → 石家荘	
29	8.18	月	石家荘着 (5 : 33)、石家荘機関区調査	電気機関車検査設備及び開業準備状況調査、技術討論
30	8.19	火	石家荘 (14 : 26 10 列車) → 北京 (18 : 43)	
31	8.20	水	質疑応答	
32	8.21	木	質疑応答、資料整理	
33	8.22	金	検討会、訪日チーム行程説明	
34	8.23	土	日本大使館、中国鉄道部訪問	日本側意見書提出、訪日チーム行程説明
35	8.24	日	北京 (14 : 10) → JAL784 → 東京 (20 : 55)	

II 中国EL概況

1980.7.23 8:30 ~ 11:30 鉄道部科学技術局周次長より説明

1. 電化区間の概況

1957年に宝鶏—成都間の四川省へのルートが完成した。これは、標高1,500mの泰嶺山脈を越える急曲線、急勾配線区であり、SL重連で650tけん引、降坂時の抑速速度は10km/hであった。嶺越えの区間の電化は1958年に計画され、1961年に開業した。1975年までに宝鶏—成都間657kmの全線が電化された。この区間の80%は山岳地帯で最急区間は宝鶏—鳳州間の45kmであり、このうち20kmが30%勾配である。宝鶏—泰嶺間のトンネルは48ある。現在EL3両で2,400tけん引を行ない、電化前の3.6倍の輸送力になっている。

1977年に陽平関—安康間360kmの電化を行ない、第3次電化工事は石家荘—陽泉間110kmを行なったが、電力部との調整がつかず、未開業である。

2 電気機関車の概況

1961年フランスのアルストームから6Y2型を25両輸入した。これを水銀整流器式で回生ブレーキ付であった。

6Y2型諸元

出力	4,800 kw	最高速度	100 km/h
主電動機	800 kw × 6	軸重	23 t
軸配置	Co—Co	全重量	138 t

1960年代にEL国産化の研究をすすめ韶山1型を開発し、1968年から量産を開始した。1968～1979年に220両新製した。このため、SL修繕工場であった田心工場（後に株州工場）をEL新製工場とした。同時にEL研究のため、株州研究所も設置した。韶山1型は当初水銀整流器式で650kwの主電動機をとう載していたが、改良を行ない、現在はシリコン整流器式で700kwの主電動機をとう載している。

韶山1型諸元

電気方式	1φ 50Hz 25kv	最小曲線半径	125 m
全重量	138 t	連結面間距離	20,368 m
軸配置	Co—Co	車体長	19,400 m
軸重	23 t	車体幅	3,100 m
軌間	1435 mm	(車両限界)	(3,200 m)
1時間定格出力	4,200 kw	パンタグラフ折畳高さ	4,700 m
1時間定格引張力	33.7 t (μ = 24.4%)	(車両限界)	(4,800)
起動引張力	54.0 t (μ = 39.1%)	(架線最低高さ)	(5,500)
最高速度	95 km/h	(トンネル高さ)	(6,500)

連結器中心高さ	880 mm	車体の引張強度	200 t
車輪径	1250 mm	自連の引張強度 (Test)	250 t (300 t)
台車固定軸距	4600 mm (3軸で)	主電動機	ZQ 650 - 1 × 6台
駆動方式	両側歯車1段減速	定格電圧	1500 V
歯車比	4.62 (88/19). m = 10	(最大電圧)	1650 V
抑速ブレーキ抵抗 (3200 kw)		制御方式	低圧タップ切換
1時間定格速度	46.6 Km/h		

1971年に韶山2型を試作し、大出力サイリスタ等の試験を行なった。これは高圧タップ切換方式で主電動機電圧は780Vであり、混合ブリッジ方式も試験した。

現在、韶山3型を開発中であり、信頼度向上とけん引力向上を目的で、2～3年以内に標準形としたい。

韶山3型諸元

最高速度	100 Km/h
出力(1時間定格)	4800 kw
速度(1時間定格)	50 Km/h
ブレーキ容量(1時間定格)	4100 kw (抵抗)

3 今後の電化計画

現在工事中の区間はつぎの通り。

宝鶏—天水	陽泉—太原	大同—北京
北京—秦皇島		広州—衡陽

4 ELに要求される性能

(1) 電気方式 1φ 50 Hz 25 $\frac{+4}{-6}$ kv

(2) けん引トン数

- FC列車 4‰ 3500 → 4000 t (10年間の向上目標)
- (単機) 5000 t (石炭専用列車)
- 14‰ 2400 t

○ PC列車 勾配に関係なく現在の850 tを1000 tにしたい。

(3) 線路条件

- 曲線 本線最小R 250 m ○ 軸距 1.5 m以上
- 構内最小R 125 m ○ 単位長さ当り重量 8 t/m以下
- 勾配 1級線 4～6‰
- 軸重 23 t

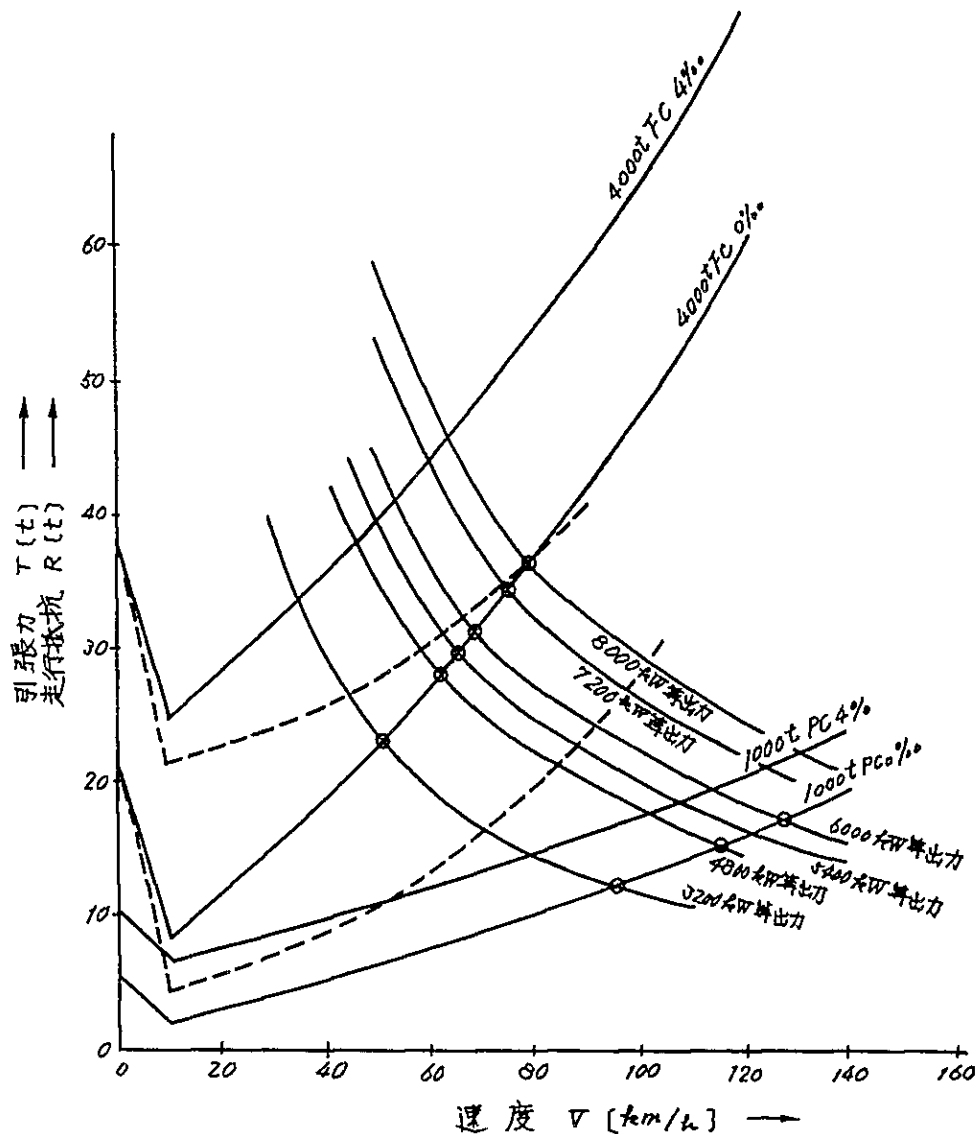
(4) 速度

PCは140 Km/h, FCは100 Km/hが目標

(5) ブレーキ距離

850 m以内

Ⅲ 走行抵抗と引張カ (中国側条件による所要出力算定の検討)



条件1: 走行抵抗 電気機関車 $R_L = (1.72 + 0.084V)W_L + 0.0369V^2$ (Kg)

貨車 (-) $r_F = 1.24 + 0.069V + 0.000313V^2$ (ボギー貨車) (Kg/t)

(...) $r_F = 1.05 + 0.00055V^2$ (石炭貨車) (Kg/t)

客車 $r_F = 1.24 + 0.069V + 0.000313V^2$ (Kg/t)

2: 出発抵抗は全て5 (Kg/t) (コロ軸受)とした。

3: 等出力曲線は $P = \frac{T \cdot W}{0.367}$ (kW)として計算した。

W_L : 機関車重量 V : 速度 T : 引張カ

IV 韶山3型電気機関車走行シミュレーション結果（参考資料として作成したもの）

◎走行条件

- EL：韶山3型 138 t
- FC： 4000 t
- 最高運転速度 80 Km/h
（制限速度のマイナス2 Km/hを超えないように運転する，ノッチを適当に選択させる）
- 力行からブレーキまでは，約30 secのだ行時分をとる。
- 定電流で加速（600 A）（引張力，37.2 t）（ $\mu = 0.27$ ）
- 減速度は，約0.7 Km/h/secとした。（走行抵抗を考慮しない場合は，0.6 Km/h/sec）
- 線路は，豊台～南倉間 112.58 Km ノンストップ（下り，上りとも）

◎EL

特性曲線は，別紙の予想値とした。

◎シミュレーション結果

	下り	上り
駅 間	豊台 → 南倉	南倉 → 豊台
距 離	112.58 Km	112.58 Km
運 転 時 分	5462 sec (1° 31' 02")	5442 sec (1° 30' 42")
消 費 電 力*	3089 kw h	4200 kw h
RMS 電 流	263 A (48%)	318 A (58%)

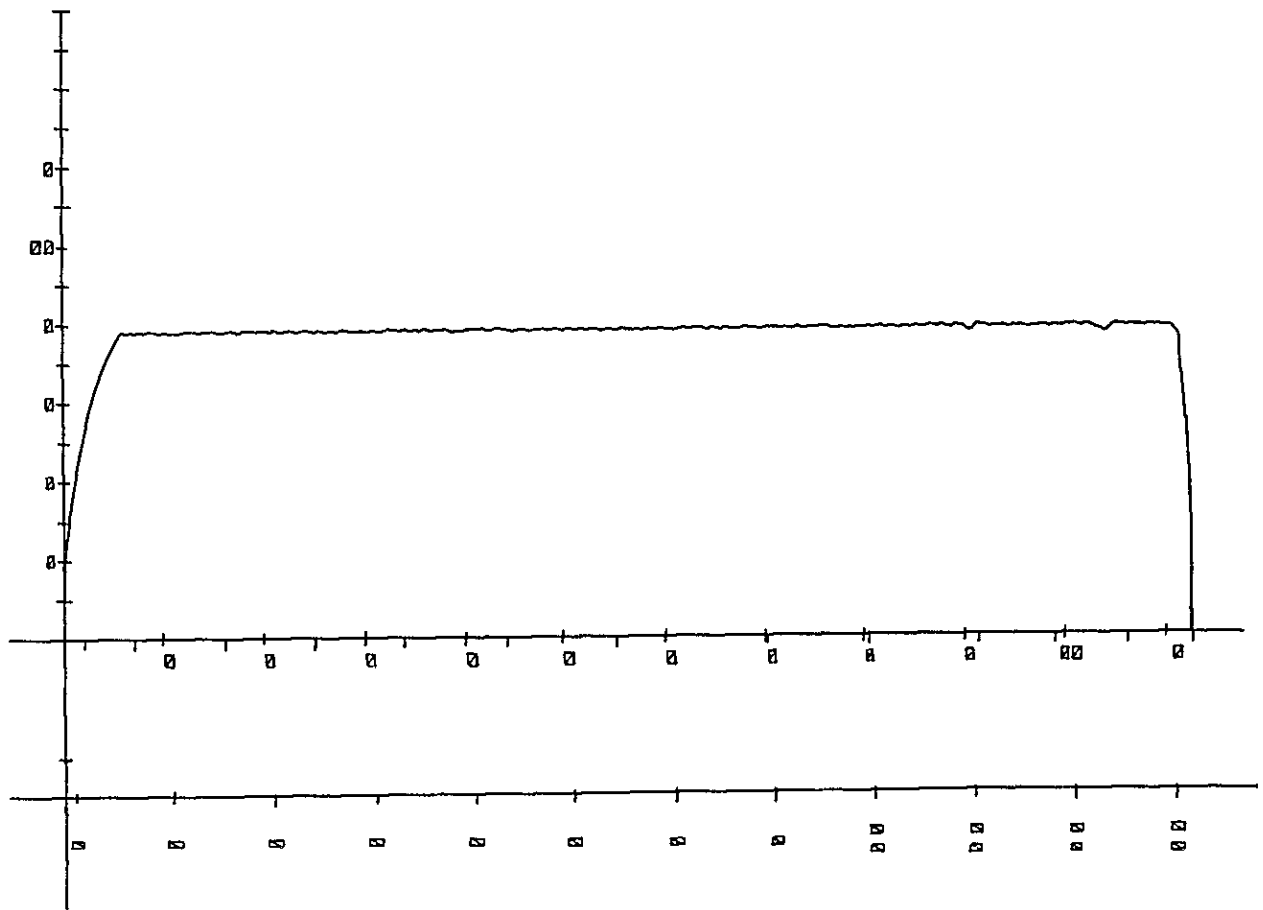
注 消費電力には補機等の電力は含んでいない，各駅間のデータは別紙に示す。

V 電気機関車講義内容及び質疑応答

1980.8.21 訪中電気機関車チーム

1 講義内容

- ① 7.30（木）AM 日本における交流機関車の発達と現状（川添）
- PM 電圧形インバータと電流形インバータの比較（佐藤）
- インバータ駆動の問題点（佐藤）
- 標準化について（川添）



質疑 Q：試作した誘導電動機の定格はどれ位か。

A：800 V 650 kwである。

Q：車輪径差の許容値はどれ位か。

A：20 mmである。インバータ駆動では3 mm以下を目標としている。

Q：何故標準化が可能になったのか。（ED 75）

A：各列車の運転条件（けん引トン数，速度）に適合する性能としたため。

主電動機等の主要部品は直流機も含めて標準化している。

② 7.31（金）A M 混合ブリッジ回路の特性（川添）

従統接続回路の特性概算法（川添）

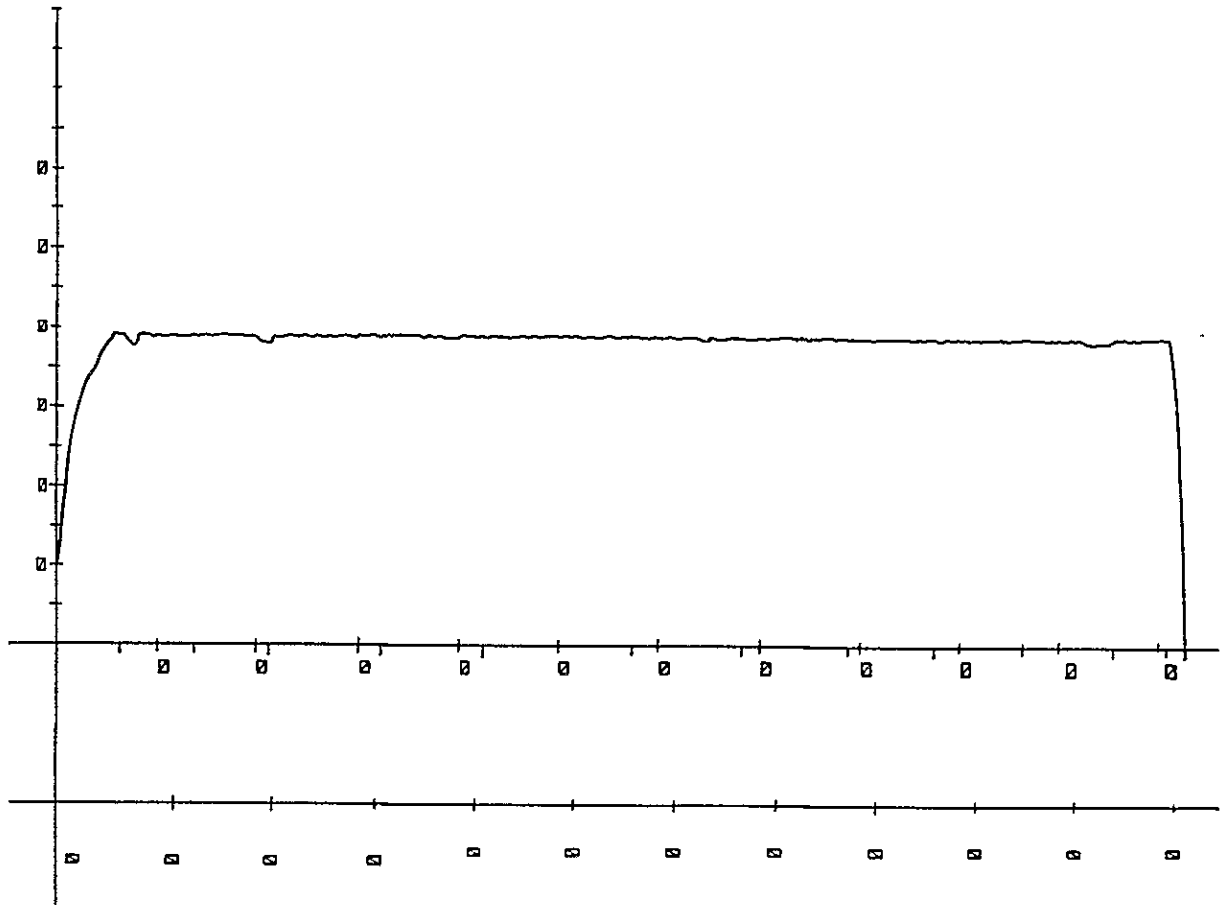
主回路および制御方式（川添，佐藤）

P M 主回路および制御方式（佐藤）

質疑 Q：ED 78 の回生ブレーキ時何故定電圧制御と定電流制御を併用するのか。

定電圧制御のみで十分ではないか。

A：速度制御範囲が広く，定電流制御のみではカバーできない。



Q : ED 77 は何故混合ブリッジにしなかったのか。

A : サイリスタ故障時の事故電流を小とするため。

③ 8.4 (月) AM 補助回路設計 (佐藤)

PM 台車の構造 (森口)

質疑 Q : 相変換機出力の電圧変動率と相間不平衡率はどれ位か。

A : 現在詳しい資料がないので、来日時勉強されたい。

Q : 補機起動時突入電流は問題ないか。

A : 問題ないように容量を設定している。問題となる場合には補機の順序起動等を考慮する。

Q : 台車のばね定数を教えてもらいたい。

A : 現在詳しい資料がないので、来日時勉強されたい。

④ 8.5 (火) AM 台車の構造 (森口)

PM 中国の主電動機紹介 (呉) (資料なし、口頭)

質疑 Q : 電動機電圧として 1500 V を選定した理由は。(日)

A : 容量増大である。定数は日本のMT 53 形に似ている。(中)

Q : 試作は何回位行なったのか。(日)

A : …………… (中)

⑤ 8.6 (水) AM 主電動機的设计 (佐藤)

日本の主電動機紹介 (佐藤) (資料なし, 口頭)

PM 日本の主電動機紹介 (佐藤) (資料なし, 口頭)

主電動機の絶縁 (佐藤)

鉄道車両用主電動機の検修 (佐藤)

質疑 Q : MT 52 形の脈流定格と直流定格は何故異なるのか。

A : 直流では電圧は750 Vに制約されるが, 交流では, 電圧を自由を選ぶことができるのでこうなった。

Q : MT 53 形について教えてもらえないか。

A : MT 53 形は交直流のEF 80 形に使用し, 我々の主電動機の系列からいえば異質である。詳細は日本で教える。

Q : エポキシワニスによる絶縁例 (図3) の耐圧は何Vか。

A : $(2.25 E + 2000) V$, $E = 1500$ である。

Q : 無溶剤ワニスについて教えてもらいたい。

A : 2液混合形であり, 実物は日本で見られたい。

⑥ 8.7 (木) AM 真空しゃ断器 (VCB) (佐藤)

主変圧器 (佐藤)

PM シリコン整流器 (MRf) (佐藤)

質疑 Q : 真空しゃ断器の動作時間が3サイクルということは, 事故検出の動作も含めて, 5サイクルで保護するのか。

A : その通り。

Q : 主変圧器の電圧変動率は。また避雷器の寿命は。

A : そのような細かいデータは現在持ってきていない。日本に来た時勉強されたい。

Q : 避雷器にカウンタはないのか。

A : ない。磁鋼片で避雷器の動作を調べている。

Q : 整流器の1アームが全部パンクした時はどのように検知するのか。

A : 主回路に異常電流が流れるので検知可能だが, 日本の素子の信頼性は非常に高いので, 最近のものでは故障検知装置も取付ける必要がない。

Q : ED 75 の主整流器で1.2アームに比べ3.4アームの並列数が多いのは何故か。

A：後日回答する。

⑦ 8.8（金）AM 空転，再粘着のモードとその条件（森口）

走行抵抗（森口）

PM 走行抵抗測定および試験（森口）

電気車の性能と定格（佐藤）

走行抵抗と引張力（佐藤）

質疑 Q：EF 71 の主電動機は何故 2 S 3 P としたのか。

A：粘着よりも RMS 電流が問題であり，F 形とし，整流器素子数を減らすため 2 S 3 P とした。

Q：電流比較形空転検知器について教えてもらいたい。

A：後日説明する。

⑧ 8.11（月）AM 日本国鉄の新車検査について（森口）

電気機関車の完成検査通則（佐藤）

PM 電車のカ行・発電ブレーキ性能試験法（佐藤）

マヤ 10 形試験車概要（佐藤）

技術討論（森口，佐藤）

⑨ 8.20（水）技術討論（森口，佐藤）

概要：ED 78 形の非対称制御，EF 62 形の 3 軸台車，アクスローラ，誘導電動機駆動についての討論を行なった。

⑩ 8.21（木）技術討論（森口，佐藤）

概要：台車及び車体の設計手法，弱め界磁による軸重移動補償等についての討論を行なった。

VI 調査結果のまとめ

80.8.22 訪中機関車チーム

今回の電気機関車の調査の結果，及び我々の経験から見て，今後の車両の製作，保守等に参考となるような事柄について感じた点は次のとおりである。

- 1 各所の設備，作業方法等については基本的な事項については良く守られている。

例えば電機子コイルのテーピング作業

コロの検査作業

- 2 半導体工場の新製設備は充実していた。
- 3 各所で現状の改善発展に対する研究又新技術に対する研究が盛んであり，発展への意欲が感じられる。

- 4 工場の生産品目を多様化して生産効率を上げる努力は非常に貴重であるが、半導体素子製作のように精密かつ高度な作業の要求される職場で、全く異質の作業を行なうことは、作業環境の汚損および作業者の技能維持の点から好ましくないと考える。少なくとも半導体を継続生産するのが望ましい。
- 5 主電動機の電機子及び界磁コイルの絶縁処理については、基礎的なことは十分に行われているが、絶縁物の信頼度向上のため、つぎの点を参考にされたい。
 - (1) 作業場の防塵，防湿
具体的には(i)テーピングしたコイルに雨水がかからないようにする。(ii)他の作業場と仕切る。が挙げられる。
 - (2) コイルの成形
 - (i) テーピング後の成形に木型と木づちを使う
 - (ii) コールドプレスとヒートプレスを比較検討する
 - (3) ワニスの真空再含浸
 - (4) 無溶剤ワニスの採用と一体絶縁の検討
- 6 コロ軸受等の部品の保管については、防錆，防塵に注意を要する。
- 7 フランジ摩耗については次の点について検討を要すると思われる。
 - (1) 軸箱構造の検討
 - (2) タイヤのフランジ焼入れの検討
 - (3) フランジ塗油器の使用の検討
 - (4) 台車構造の変更の検討 例えばC-CタイプをB-B-Bタイプに変更。

3-3 車両（牽引動力技術の改造研究指導）電車

1 訪中目的

電車の日・中技術交流をおこなうため

2 チーム編成と派遣期間

井上等 国鉄車両設計事務所次長
吉川正敏 国鉄車両設計事務所主任技師
鶴賀仁史 国鉄車両設計事務所補佐

期間 出発 昭和54年8月23日
帰国 昭和54年9月22日

3 現地行程

8月23日(木)	成田発 12.35 AF179 便 北京着 16.10
24日(金)	中国鉄道部，大使館挨拶，日程打合せ
27日(月)	北京・天津間調査
28日(火)	北京→宝鷗
29日(水)	宝鷗→泰嶺電化区間調査，宝鷗機関区技術交流会
30日(木)	宝鷗→永濟
31日(金)	永濟工場見学および技術交流会
9月1日(土)	永濟→北京
3日(月)	} 講議および技術交流会
4日(火)	
5日(水)	
6日(木)	
7日(金)	北京地下鉄技術交流会，科学院車両研究所技術交流会
10日(月)	北京→長沙
11日(火)	田心工場見学，技術交流会
12日(水)	長沙→北京

9月13日(木)	} 講議および技術交流会
14日(金)	
17日(月)	
18日(火)	
19日(水)	
20日(木)	
21日(金)	中国鉄道部, 大使館挨拶
22日(土)	北京発 15.30 JAL 782: 成田着 20.30

4 講議および技術交流会主要項目

- 日本の鉄道概況
- 日本の電車, 新幹線概況
- 電車の出力算定法
- 電車の構成方法
- 主要電気機器
- 台車
- 回路構成法
- ブレーキシステム
- 走行安定性
- 乗り心地向上策
- 誘導障害対策
- 保安対策
- 車両の保全
- 中国側電車計画案に対する討議

5 電車計画の概要(中国案内容)

5.1 基本条件

- (1) 用途: 都市間中距離旅客輸送用
- (2) 限界: 車両限界 GB146 - 59, 車限 - 1
- (3) 自然環境: 海拔 $\leq 1,000 m$

温度 - 25℃ ~ + 40℃

- (4) 軌 間 ; 1,435 mm
- (5) 電気方式 ; AC 25KV , 50Hz
- (6) 列車編成 ; 14 両 , 全電動車 , 2 両 1 ユニット方式
- (7) 軸 重 ; 16.5 ton
- (8) 最高速度 ; 160 Km / h
- (9) ブレーキ距離 ; 1,200 m

5.2 主要諸元

- (1) 出 力 ; 150KW × 8 = 1,200 KW (1 ユニット当り)
- (2) 定格速度 ; 120 Km / h
- (3) 加 速 度 ; 0.9 Km / h / s (0 ~ 160 Km / h)
減 速 度 ; 2.16 Km / h / s (160 ~ 100 Km / h)
- (4) ブレーキ方式 ; 発電ブレーキと電磁直通ブレーキ
- (5) 制御方式 ; サイリスタ位相制御
- (6) 車 長 ; 26.2 ~ 26.5 m (連結面間距離)
- (7) 巾 ; 3,204 mm
- (8) 定 員 ; 先頭車 75人 (2 人 + 3 人)
普通車 100人 (2 人 + 3 人)
優等車 64人 (2 人 + 2 人)
ビュッフェ車 50 ~ 75 人 (2 人 + 3 人)
- (9) 空気調和装置 ; 天井集中 1 両 2 基
- (10) 汚物処理 ; 須環式
- (11) 台 車 ; 軸 距 2,500 mm
車輪径 915 mm
歯数比 2.956
全側受式
- (12) 補助回路 ; 単 相 220 V
3 相 380 V
- (13) すべての電気機器は出来るだけ韶山形電気機関車や地下鉄電車の試練を経た製品を選択する。

6 中国案に対する主な討議事項

6.1 基本条件の明確化

- (1) 列車種別，速度体系と所要出力
- (2) 分割・併合と車両構造
- (3) 事故時，異常時の取扱い
- (4) 架線構造とパンタグラフ
- (5) 軌道，ポイント構造と電磁吸着ブレーキ
- (6) 降積雪状況と耐雪構造

6.2 車両性能

- (1) 列車編成におけるM・T比率と主電動機容量
- (2) 最高速度における加速余力
- (3) 車両構成法と車両重量

6.3 保守性

- (1) 検査修繕体系と車両構造
- (2) 発電ブレーキと機械ブレーキの分担
- (3) 機器ぎ装方法

6.4 制御方式

- (1) 直巻電動機と複巻電動機方式
- (2) 速度制御方式
- (3) 空転・滑走防止対策
- (4) 補機システム

6.5 台車

- (1) 軸箱支持方式
- (2) パネ定数の最適化
- (3) 機械ブレーキ構造

6.6 車体設備

- (1) 車両の使命とアコモデーション

- (2) 分割・併合と前面構造
- (3) 連結装置
- (4) 車端圧縮荷重

6.7 最適設計の考え方

- (1) 車両の寿命と設計
- (2) 疲労概念の導入
- (3) 短時間定格と連続定格

7 技術交流会を通じての所感

1. 北京―天津，北京―石家荘間の電化および電車運転の実現を熱望している。

中国側原案によれば，最高速度 160 km/h，14両編成の電車列車運転の構想であり，このため試作車両 4 両を 4 年間で試作したい意向である。このため，日本の電車技術の指導を強く要望している。

2. カウンターパート 20 名は非常に熱心で，設計面，構造面，細部にわたっての質問が多い。

雑誌，技術書等による知識は豊富である。しかし，非常に専門的に細分化された感があり，広範囲の技術の結集を必要とする電車を取りまとめる上で，システム化体制をより強化することが望まれる。

3. 電車設計をおこなう上での基本条件，設計思想の明確化を十分おこなう必要があると思われる。

4. 宝鷗―成都間で，25 KV 交流機関車が運転されているが，使用実績からの設計面，保守体制面へのフィードバック機能をより充実することが必要と考えられる。電車は他車種に比べて使用材料の種類や，部品点数がはるかに多く，又，取扱両数も増加すると思われるので，電車の導入に当っては，設計・製作面とともに保守の技術や体制についても併行して，検討することが望ましい。

3—4 電化設備（電力供給系統の研究指導）

（電源・変電担当） 渡 邊 寛

（電車線担当） 宮 林 貞 治

内 容 梗 概

現在、中華人民共和国（以下中国という）では、鉄道近代化の一環として京津線（北京—天津間約130 Km）の電化が計画されており、日本においてもこれに技術協力すべく中国・鉄道近代化計画調査団が結成され、その推進の一翼を担なおうとしている。

本文は表記線区を電化する場合の技術的諸問題について、中国と日本の電化技術専門家が一堂に会して討議した内容を、日本国側担当者がとりまとめたものである。

その内容は電源、き電回路と変電所及び電車線路等の設備計画についての、初期段階における論議結果である。

すなわち、電源問題としては電化に必要な電源系統容量や、電化によって発生する高調波電圧等の量的考察、き電関係では方式としてはATき電、主変圧器結線としてはスコット方式が最も優れていると結論し、き電系統図を作成した。そしてこれを元に変圧器やATの容量を決定、さらにき電回路定数を理論計算し、保護システムと故障点標定方式を選定、力率改善用並列コンデンサ容量と高調波吸収効果の考察、変電所等の主回路結線法の考え方等を整理した。また、電車線路設備関係としては、その設備条件の基本事項をまとめると共に、高速運転対応としての架線方式を決定し、架線構造、架線支持方式等の基本的考え方を整理して、具体的な設計方法等について述べた。

目 次

1. 概 要	220
2. 電源、き電回路及び変電所等の設備	221
2.1 電 源	221
2.1.1 概 況	221
2.1.2 電鉄用変電所までの送電線設備	222
2.1.3 三相送電線系統の絶縁階級と保護継電方式	222
2.1.4 電化に必要な三相短絡容量	222
2.1.5 電鉄負荷による高調波の電源への影響	223
2.2 変電所開閉所等の設備	225
2.2.1 き電方式の選定	225
2.2.2 き電方式の原則	226
2.2.3 負荷条件と電力消費率	226
2.2.4 主変圧器容量の算定	228
2.2.5 主変圧器結線方式による不平衡軽減効果	230
2.2.6 単巻変圧器（AT）容量の算定	232
2.2.7 き電回路定数の計算結果	236
2.2.8 ATき電回路のインピーダンスと故障計算	237
2.2.9 き電回路の電圧降下	237
2.2.10 き電回路の保護方式と故障点標定方式	238
2.2.11 変電所、開閉所等の主回路結線図	241
2.2.12 力率、電圧降下等補償方式	243
2.2.13 変電所遠方制御方式	246
2.2.14 電車線自動切替セクション装置	247
3. 電車線路設備	248
3.1 設備条件	248
3.1.1 自然条件	248
3.1.2 線路条件	248
3.1.3 限 界	249
3.1.4 安 全 率	251
3.1.5 絶縁隔離	251

3.2	き電系統及び架線方式	252
3.2.1	き電系統	252
3.2.2	架線方式	253
3.3	電車線構造	256
3.3.1	電車線装柱	256
3.3.2	曲線半径と径間	256
3.3.3	電車線線種と張力	257
3.3.4	トロリー線高さ, 勾配, ハンガー間隔及び架高	258
3.3.5	流れ止め装置	258
3.3.6	張力調整装置	259
3.3.7	区分装置	259
3.3.8	豊台駅跨線橋下架線構造	260
3.4	電車線の支持方式	261
3.4.1	駅中間	261
3.5	き電線及び保護線	262
3.5.1	き電線	262
3.5.2	保護線	262
3.6	強度計算	263
4.	成果の要約	264
5.	あとがき	264
付1	電源, き電回路及び変電所等の設備	265
付1-1	京津線沿線の送電系統図	265
付1-2	京津線電化のき電系統図	265
付1-3	変電所の主回路結線図	266
付1-4	き電区分所の主回路結線図	267
付1-5	き電開閉所の主回路結線図	267
付1-6	A T Pの主回路結線図	268
付1-7	将来予想される京津線の運転ダイヤ	268
付1-8	き電回路定数計算法	269
付1-9	き電回路電圧降下の計算	274
付1-10	受電点における高調波電圧含有率の計算例	276

付1-11	北京-天津間電力消費量(率)の計算結果	277
付1-12	電化技術講座予稿(目次集)	279
付1-13	中国鉄道部よりの質問事項と解答(目次集)	280
付1-14	電化技術討議に用いた文献目録	281
付2	電車線路設備	285
付2-1	き電系統図(架線範囲を含む)	285
付2-2	駅中間標準装柱図, 可動ビーム式(直線区間)	297
付2-3	駅中間標準装柱図, 可動ビーム式(曲線区間)	297
付2-4	駅中間標準装柱図, スパン線ビーム式	298
付2-5	駅中間標準装柱図, 固定・可動ビーム併用方式	298
付2-6	駅中間標準装柱図, 固定ビーム式	299
付2-7	駅構内標準装柱図, スパン線ビーム式	299
付2-8	駅構内標準装柱図, 固定ビーム式〔I〕	300
付2-9	駅構内標準装柱図, 固定ビーム式〔II〕	300
付2-10	平行区構造図(エアジョイント)	300
付2-11	平行区間構造図(エアセクション)	301
付2-12	豊台駅跨線橋下架線構造図	301
付2-13	H A L 150 mm弛度張力張力曲線	302
付2-14	A C S R 50mm弛度張力張力曲線	302
付2-15	保護線の短時間電流容量	303
付2-16	変電所引出し設備構造図	303
付2-17	駅門形支持物の強度計算	304
付3	電化技術講座, 討議, 報告作成者名簿	282
付3-1	電化技術講座参加者名簿	282
付3-2	電化技術討議参加者名簿	283
付3-3	報告作成中国側参加者名簿	284

—以上付録—

1. 概 要

現在、中国においては4つの近代化を指標に、産業の急速な発展を成し遂げつつあるところであり、鉄道近代化による輸送力増強に寄せられる各界の期待は非常に大きい。

かかる折、北京—天津間の電化計画を行うことは、誠に時宜を得たものであり、日本国においてもこれらに技術協力すべく、1979年7月12日、日中間で「日中鉄道技術協力計画書」がとり交わされ、その後「中国・鉄道近代化計画調査団」が結成された。

筆者等はその一調査団として8月27日来中したが、その主な任務は一般的な電化技術の交流と、北京—天津間電化設備の初期段階における計画に対する助言である。そしてその技術的内容としては渡辺寛が電源、き電回路並びに変電設備、宮林貞治が電車線路設備関係を担当した。

現地調査の内容は、北京—天津間電化予定地域の地形、跨線橋等電化設備計画に必要な事項、吸上変圧器(BT)き電方式により電化されている石家荘近傍、直接き電方式により電化されている宝 地区等における電化技術に関するものである。

また、現地調査のあい間には、北京において電化技術に関する講座を一週間、そして討議を一週間にわたって行ったが、その参加者は天津、太原そして遠くは成都からも集まり、変電関係、電車線関係夫々20名程度(付-3.1, 付3-2)、電化技術に関する討議は終始熱心に行われた(講座予講・文献は付1-13, 14)。

さらに本報告書作成に当たっては、前記の討議に参加された方々の中から変電関係4名、電車線関係3名(下記)残って頂き、正味7日間更に討議を重ね、設計図の作成や理論計算等を分担して頂いた。従って本報告書の付属資料の殆んどは同氏等の労作であり、その内容は素晴らしいものである。

ふり返えてみると、これら一連の講座、討論そして報告書作成を通して、日中両国の技術者が長期間肌を接して技術交流したことは、電化設備計画を一步前進させたのみでなく、日中両者の相互理解を一層深め、技術力向上を成し、日中技術協力の実を挙げ得たと信じている次第である。

尚、本報告の主な執筆分担は下記のとおりである。

	内容梗概	渡辺 寛
第1章	概 要	同 上
第2章	電源、き電回路及び変電所等の設備	同 上
第3章	電車線路設備	宮林貞治
第4章	成果の要約	渡辺 寛, 宮林貞治
第5章	あとがき	渡辺 寛

付-1	電源、き電回路及び変電所等の設備	李定邦, 慘耀珊 刘起津, 梁志忠
付-2	電車線路設備	張際勛, 王濟立 单啟跋
付-3	講座, 討議及び報告書作成参加者名簿	李定邦

2. 電源、き電回路及び変電所等の設備

2.1 電 源

2.1.1 概 況

鉄道電化に当たり安定した電源を得ることは必須の要件である。このため電力事情は可能な限り詳細に調査すべきである。すなわち、

- (1) 電力需給状態の概要
 - (2) 将来の電源開発, 改良計画並びに需給計画 (将来5箇年間の予想)
 - (3) 電力系統図
 - (4) 電力潮流図 季節別又は豊水, 平水, 渇水期別に調査し, これについても記載する。
 - (5) 関係発電所並びに変電所調査
 - (6) 関係送電線路調査 周波数, 電圧変動範囲等。
 - (7) 関係送電線路の事故統計
- 等である。

今回の北京-天津間の電化設備計画に当たっては, 諸般の事情により標記項目の調査は極く一部に留めた。すなわち、

- (1) 北京-天津間鉄道沿線における送電系統図 (付1-1)
- (2) 北京地区, 天津地区における想定受電点の三相短絡容量

北京地区 (2500 MVA)	110 KV 系統
天津地区 (2000 MVA)	110 KV 系統

上記は何れも220 KV, 110 KVを送電する電力部の変電所母線における三相短絡容量である。

第2.1.4章で述べるように, 北京-天津間を電化する場合, 電源部の必要な三相短絡容量は1000 MVAであり, 標記区間の電化は電源的にみて十分可能であると判断される。

2.1.2 電鉄用変電所までの送電線設備

交流き電方式としてATき電方式を採用することは、電車線設備はやや複雑となるが、き電可能距離が長いこと電鉄用変電所の数は少なく、送電線設備は他のき電方式（直接、BT等）より廉価となる。北京―天津間の電源状況は北京、天津の近郊部が強力であり、想定される受電間の距離は約100 Kmである。また、鉄道沿線に220 KV、110 KVの送電線が併行して設備されているが、220 KV系は電力部の主要幹線で途中よりのT分岐は許されなく、110 KV系は一般需要家への電力給供を行っているため、その送電容量からみて、電鉄負荷へ給供する余地が全く残されていないのが実情である。

従って電源給供の面から考察すると、ATき電方式が最も有利であると断ぜざるを得ない。しかしながら、AT方式といえども本線区においては、電力部の変電所より電鉄用変電所までの送電線を建設する必要があり、一検討案によれば、北京方で25 Km、天津方で15 Kmの三相110 KV、2回線（延長15 Km×2回線+15 Km×2回線、計60 Km）の工事施行を行わなければならない。

但し、北京方の送電線工事は、豊台―大同間の電化工事によってなされる豊西き電用変電所よりは鉄道線路に沿って15 Km程度敷設されれば良いことになる。

2.1.3 三相送電線系統の絶縁階級と保護継電方式

110 KV系の三相送電系統は中性点直接接地系統を採用しているため、その絶縁設計は割合い容易である。また、保護継電方式は距離継電方式3段とする電力部の標準設計でよい。

日本の例では電力会社（電力部に相当）と協調のとれた絶縁階級および保護継電方式を採用するのが通例であり、中国に於いても同様と思われる。

2.1.4 電化に必要な三相短絡容量

日本においては電化に必要な三相短絡容量 P_0 を定義する場合、三相電圧不平衡率を技術基準により定められた値以下とするときもある。すなわち、「受電点における電圧不平衡率は2時間平均で3%以下」と告示により定められている。

しかし、この値は必ずしも苛酷なものではなく、電鉄負荷のように変動負荷の場合、2時間平均3%以下で電氣的公害が皆無であるとはいえない。よって日本国鉄では次のような目標値をあげて自主的に管理している。すなわち電圧変動率を下記以内に納めるようにしている。

電圧変動率は変動周期が約2～3分のフリッカに対しては4～5%、約10秒に対しては3%以内とする。このようにすれば電圧不平衡率は瞬時値でも3%以下となり、当然技術基準を満足する。

電圧変動率 ΔV と電圧不平衡 K との計算式は次により示される。

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} W_B}{P_S} \sin\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right) \times 100 [\%]$$

$$K = \frac{|\text{逆相電圧}|}{|\text{正相電圧}|} \times 100 [\%] = \frac{W_A - W_B}{P_S} \times 100 < \frac{W_B}{P_S} \times 100 [\%]$$

$$\therefore K \leq \frac{\Delta V}{\sqrt{3} \sin\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right)} = \frac{\Delta V}{1.432} [\%]$$

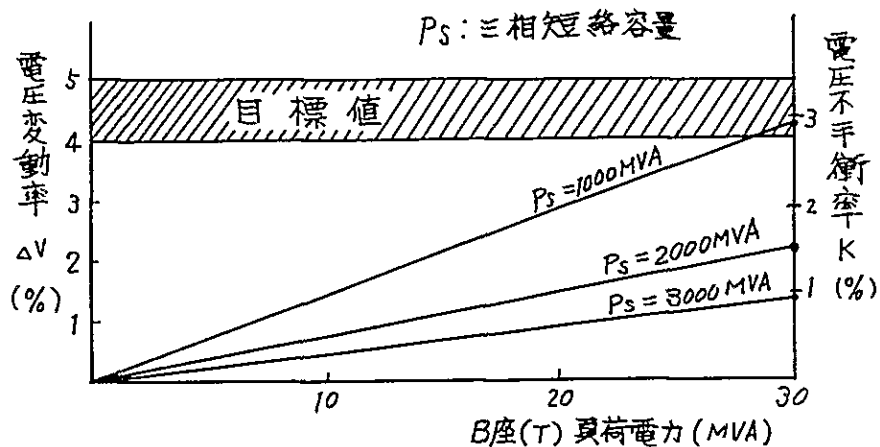
但し W_A, W_B ; A (M), B (T) 負荷電力

P_S ; 三相短絡容量

θ ; 負荷力率 (中国の場合 $\theta = 0.9$)

以上の理論式に三相短絡容量 をパラメータとして計算してみると図 2.1 を得る。即ち、単相負荷電力を 20~30 MVA とすると電化に必要な電源の三相短絡容量は 1000 MVA と想定される。

図 2.1 電化に必要な三相短絡容量



2.1.5 電鉄負荷による高調波の電源への影響

電鉄負荷は整流器負荷であるため、高調波電流を発生する。

中国において現在運転されている韶山1号はダイオード、タップ切替制御方式を採用しており、また、北京-天津間電化に投入される予定である 山3号はサイリスタ、タップ

切替制御方式（等価8分割位相制御方式）を用いる予定である。

前記電気機関車の高調波電流特性は不明であるが、日本国鉄の在来線用電気機関車の高調波特性を例として、高調波の電源系統への影響について少し考察を加えてみよう。

(1) 電気車の高調波電流含有率

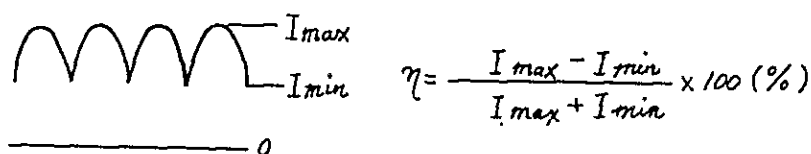
電気車の交流側電流波形は短形波（高調波含有率 $1/n$: n は高調波次数）と三角波形（ $1/n^2$ ）の中間にあり、一般には A/n^2 （ A : $1 \sim 2.5$ ）という表現がなされる。そしてその大きさは、駆動用主電動機の脈流率^{*}、直列リアクトル、サイリスタ制御方式においては電圧分割数等電気車の設計によって変わる。

今仮に電気車の高調波含有率を $2/n^2$ として検討してみよう。

注；脈流率 η

主電動機電流の波形の脈流分を定義したものである。

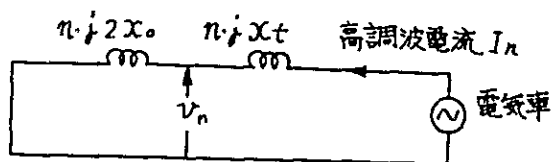
図 2.2 脈流率の定義



(2) 受電点に発生する高調波電圧含有率（計算方法の詳細は付1-10）

高調波問題を検討する場合は、その発生源（電気車）を電源と考え、定電流回路として発電機側に流入するものとするのが、一般の解析法である（図 2.3）。

図 2.3 高調波解析等価回路

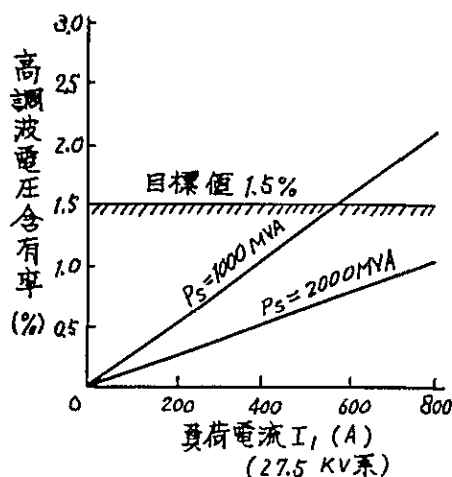


すなわち、受電点に発生する高調波電圧 U_n はその次数の高調波インピーダンス $n \cdot j 2x$ と高調波電流 I_n との積で表わされ、その合成電圧は $V_n = \sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + \dots}$ 、

電圧歪率は $V_n/V_1 \times 100\%$ で表現される。

いま、27.5 KV Baseで受電点における高調波電圧含有率を、三相短絡容量をパラメータとして計算してみると図 2.4 のようになり、受電点の短絡容量が 2000 MVA 以上の場合、高調波電圧含有率の面からは目標値の 1.5 % を下廻ることになり、問題とはならない。(付 1-10 に高調波問題の計算手法を示した。)

図 2.4 受電点における高調波電圧含有率



2.2 変電、開閉所等の設備

2.2.1 き電方式の選定

現用されているき電方式の種別としては宝鷄地区で適用されている直接き電方式、石家荘地区で適用されている吸上変圧器き電方式(以下BT方式という。)日本の新幹線等で広く実用されている単巻変圧器き電方式(以下AT方式という。)の3種であるが、それぞれに一長一短があり、一概にどのき電方式が良いとはいえない。

直接き電方式は、電車線構造が極めて単純であるが、近傍通信線への誘導が大であり、BT方式は通信誘導は小であるが、電車線構造が複雑でBTセクションの弱点があり、き電可能距離が短い等の欠点を有する。

AT方式のき電可能距離は前記2者に比べて格段と長く(2.5倍)、通信誘導もBT方式同様少ないが、全線に30号絶縁のき電線及び沿線約10Km毎に大容量の単巻変圧器(AT)を設けることが必要である等の欠点を有する。

従ってき電方式を選択する場合には、上記3方式の長短を踏まえてその国の国情、地域的特徴を把握した上で決定すべきものと考えられる。

北京－天津間は電源供給点も 100 Km程離れており，人口も稠密なことより通信誘導対策も必要であること，並びに大容量電気機関車の運転（1き電区間電流最大 800 A）によるブースタセクションの消弧対策の必要性及びメンテナンス等を併せ考えると，ATき電方式を採用することが最適と考えられる。

2.2.2 き電方式の原則

き電方式の原則は下記に示すとおりとする。

- (1) ATき電方式が最も有利と考えられる。（前項参照）
- (2) 上下線間の輸送量の不平衡を按分するには方面別異相き電が最も有利である。
- (3) 上記と同一理由で，き電区分所（SP）及び補助き電区分所（開閉所，SSP）では上下タイき電を定位とする。

なお，これはき電回路の電圧降下軽減対策としても有効である。

- (4) SS，SP，SSPにおいては，AT中性点はレールに結ばれ放電器を介して接地される。中国の既設電化区間ではレールを直接接地しているが，その方法はレール電位抑制には効果はあるが，付近の通信線に対する誘導は増加する。
- (5) 電車線に併行して無絶縁方式の保護線（PW）を設備するか，現行のように各電化柱毎に電車線支持物を放電ギャップを通してレールに結ぶかについては賛否両論あるが，日本としては信号軌道回路へ悪影響を与えない前者のPW方式を推奨したい。
- (6) (4)項によりレールが非接地構成となると，電気車電流によりレール電位が上昇する傾向になるから，その抑制のためにAT点及びAT中間点はインピーダンスボンドを介して上下レールを結ぶ「クロスボンド法」を採用することを推奨したい。

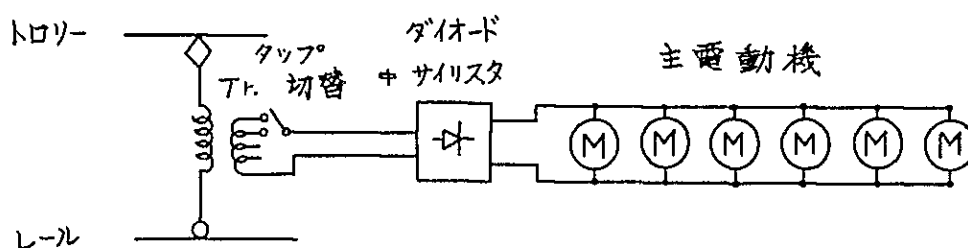
2.2.3 負荷条件と電力消費率

(1) 韶山3号の概要

北京，天津間の電気運転に予定されている電気機関車，韶山3号の諸元のうち，電力供給面より関連のあるものをあげてみると以下のようなものである。

- (a) 出力 4000 kW 1時間定格 4800 kW 6軸
- (b) 電圧 最大 29 KV，最低 19 KV
- (c) 制御方式 変圧器2次タップ切替形（8段）
サイリスタ位相制御方式

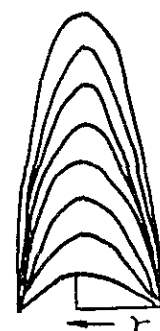
図 2.5 韶山 3 号の主回路結線方式



- (d) 高調波吸収用フィルタは搭載していない。
- (e) 起動時最大電流は 250 A (27.5 KV系) と想定される。
- (f) 整流素子

図 2.6 8 等分割位相制御

サイリスタ 定格 200^v 500A 24個
 ダイオード 定格 240^v 800A 108個
 を使用している。



(2) 北京-天津間を韶山 3 号が運転した場合の電力消費率

電力消費率の計算は電気車の特性、走行区間の勾配、停車駅の数、走行抵抗の想定等可成り複雑な計算をしなければならない。そしてこの結果は、変電所のき電用変圧器の容量を決定するための重要な要素として使われる。

そこで今回は、中国側に綿密な計算を依頼すると共に、全く別に日本国鉄でコンピュータシミュレーションにより算出した。

その計算結果は表 2.1 に示すとおり非常によく一致しており、十分信頼し得ると考えられる。

これらにより主変圧器容量の算定には電力消費率として、10 KVAH/1000 t · Km を用いた。

(中国側の計算結果は付 1-11 を参照されたい。)

表 2.1 電力消費率の計算結果

項目		計算者	
		中 国	日 本
運 転 条 件	列 車 重 量 (t)	4000	4000
	機 関 車 形 式	韶山3号	韶山3号
	列車最高速度 (Km / h)	75	90
	負 荷 力 率	0.9	0.9
上下平均の電力消費率 (KVAH/1000 t・Km)		9.44	9.59

2.2.4 主変圧器容量の算定

電化方式をAT方式と想定して付1-2に示すような電系統を作成し、本項では変電所に設備される主変圧器の容量を算定する。その前提条件は次に示すとおりである。

- (a) 主変圧器は完全二重系とし、原則として並列き電は行わない。従って主変圧器1台で十分な運転の確保が行えるものとする。
 - (b) 延長き電は原則として行わない。従って変圧器片座の受持つき電回路長は系統図よりみて43 Km×2(上下線)以下とする。
- (1) 年間貨物総輸送量、旅客の1日平均ダイヤより算出

前提条件として貨物の年間総輸送量6000万ton(上下線では12000万ton)、客車は重量800t、電気機関車は138t、1日40対運行(上下で80本)、また、貨車輸送の電力消費率は10KVAH/(1000t・Km)、客車輸送の電力消費率は20KVAH/(1000t・Km)と想定し、主変圧器容量を算出する方法である。

- (a) 貨車輸送による電力消費の一時間平均

片側年間輸送量t 片腕き電距離
上下

$$\frac{60 \times 10^6 \times 43 \text{ Km} \times 2 \times 10 \text{ KVAH} / 1000 \text{ t} \cdot \text{Km}}{0.7 \times 365 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間} \times 1000 \text{ t}} = 8415 \text{ KVAH} / \text{H}$$

(貨車+機関車)重量系数 = 0.7

すなわち、貨物輸送のために8.415MVAH必要とする。

(b) 客車運搬による電力消費の1時間平均

$$\frac{\text{片側1日運行数} \times \text{上下} \times \text{片腕き電距離} \times \text{客車重量} + \text{機関車重量} \times \text{電力消費率}}{24 \text{ 時間} \times 1000 \text{ t}}$$

$$= \frac{40 \times 2 \times 43 \text{ Km} \times (800 \text{ t} + 138 \text{ t}) \times 20 \text{ KVAH/Kt} \cdot \text{Km}}{24 \text{ 時間} \times 1000 \text{ t}}$$

$$= 2689 \text{ KVAH/H}$$

(c) 両者の和

$8415 + 2689 = 11,100 \text{ KVA/片座}$

(d) 11,100 KVA は年間平均であるから、短時間ピーク係数 1.5 を乗じると 16,656 KVA/片座となる。

(e) この数値を上方に丸めて 20 MVA/片座とする。

よって、スコット結線変圧器の総容量はこの値の2倍の 40 MVA となる。

20 MVA 片座の定格電流は

$$55 \text{ KV系で} \quad 20 \text{ MVA} / 55 \text{ KV} = 364 \text{ (A)}$$

$$27.5 \text{ KV系で} \quad 20 \text{ MVA} / 27.5 \text{ KV} = 727 \text{ (A)}$$

片座想定最大の最大負荷電流は、1000 A (27.5 KV系) と考えられるので変圧器の過負荷率 K は

$$K = 1000 \text{ A} / 727 \times 100 = 138 \%$$

となる。

(2) 中国が常用している方法により算出

(a) 計算条件

将来の貨物輸送能力 (A) 6,000 万 t (上下 12,000 万 t)

客車本数 40 本対 / 1 日 (上下 80 本)

電力消費率 貨車 10 KVAH / 1000 t · Km

客車 20 KVAH / 1000 t · Km

片座最大き電距離 (L) 43 Km × 2 (上下線)

(貨車 + 機関車) 重量係数 0.7

(b) 計算式

変電所片側のき電区間に入る貨物列車の1時間平均の t · Km (M貨) は次式により計算される。

$$M \text{ 貨} = \frac{A \times 10 \times 2L}{365 \times 24 \times \beta} \quad (\text{t} \cdot \text{Km})$$

こゝに A : 将来の輸送能力

L : 片座き電距離

また、客車輸送の1時間の平均 $t \cdot \text{Km}$ (M客)は、

$$M_{\text{客}} = \frac{(Q_{\text{客}} + 138) N_{\text{客}} \times 2L}{24} \quad (t \cdot \text{Km})$$

こゝに、 $Q_{\text{客}}$ は客車重量800 t、138は機関車重量、 $N_{\text{客}}$ は客車往復本数を示す。

次に、変電所の片座の1時間の電力消費 P_A は

$$P_A = K_1 K_2 K_3 (M_{\text{貨}} \cdot a_{\text{貨}} + M_{\text{客}} a_{\text{客}}) \text{KVA}$$

で計算される。

こゝに、

K_1 : 負荷波動係数、 K_2 : 電力損失係数、 K_3 : 有効電流係数

(c) 計算結果

上式に計算条件の数値を代入して計算する。

$$P_A = 1.15 \times 1.05 \times 1.3 (8400 + 2680) = 17.4 \text{ (MVA)}$$

この数値を安全側に丸めると20MVAとなり、必要な主変圧器容量はスコット結線の場合両座で40MVAとなる。

(3) 日本式計算方法により算出(電気鉄道要覧参照)

$$P_A = \frac{\text{Km}}{1000} \times \frac{\text{KVAH}}{t} \times \text{上下} \times \text{電力損失} \times \text{列車} \times \text{MVA}$$
$$P_A = 43 \times 10 \times 4000 \times 2 \times 10^{-3} \times 1.05 \times 7.3 = 26.3$$

(4) 結論

以上、主変圧器片座分の必要な容量を計算したが中国式では20MVA、日本式では30MVAという結果となった。

そこで、筆者は下記を提案する。

- (a) 電化当初は20MVA(両座で40MVA)2台設備して完全二重系とする。
- (b) 将来輸送量増大に伴い負荷電力が増加する時点において前記出力の変圧器1台を増設し、常時2台運転、1台を予備器とする。

2.2.5 主変圧器結線方式による不平衡軽減効果

従来より中国において、き電用変圧器結線方式としてはソ連方式のスターデルタ結線方式が採用されてきた。然るに北京-天津間電化計画では日本方式のスコット結線又は変形

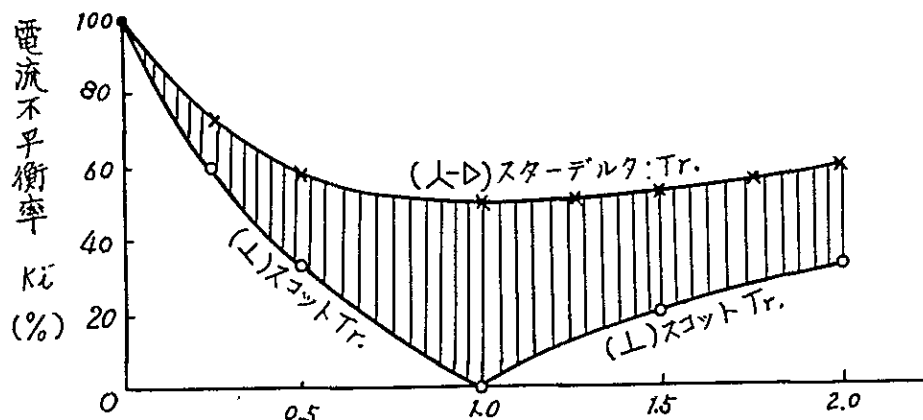
ウッドブリッジ結線変圧器を採用しようとしている。

そこで本項では上記各結線方式における不平衡軽減効果を主体として考察を進めてみる。

表 2.7 は各結線方式の変圧器の性能比較を示すものであり、これらを要約すると以下のとおりである。

- (1) 三相電圧不平衡に関してはスコットと変形ウッドとは同様であるが、スターデルタ結線は最も悪い(図 2.7)。
- (2) 容量的には昇圧変圧器を有する変形ウッドブリッジ結線が最も悪く、全体として21%容量増となる。
- (3) 一次側が非接地で使用できるならば、スコット結線変圧器が最も経済的で性能もよい。

図 2.7 変圧器結線方式による電流不平衡率

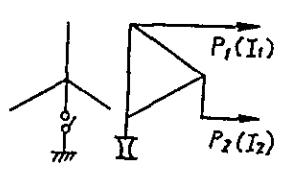
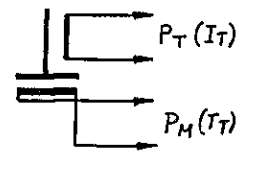
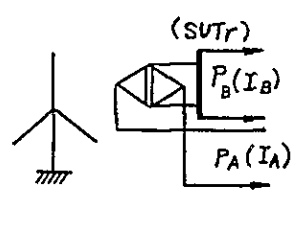


但し、 P_1, P_2 ; (F_1, F_2) の負荷電力 (MVA)
 P_M, P_T ; (M, T) の負荷電力 (MVA)
 P_A, P_B ; (A, B) の負荷電力 (MVA)
 P_S ; 三相短絡容量 (MVA)

結 論

以上により、北京-天津間電化設備計画においてはスコット結線変圧器を採用されることを推奨する。

表 2.2 変圧器結線方式の性能比較

主変圧器結線方式	スターデルタ結線	スコット結線	変形ウッドブリッジ結線
比較項目			
1次中性点	接地可	接地不可	接地可
容量比	100%	100%	[100 + 21 (sutr)]%
電流不平衡率	$K_i = \frac{\sqrt{n^2 - n + 1}}{n + 1} \times 100\%$	$K_i = \frac{ I_M \sim I_T }{ I_M + I_T } \times 100\%$	同 左
Ki	但し $n = \frac{ I_1 }{ I_2 } = \frac{ P_1 }{ P_2 }$ I1 = I2 , Ki = 50%	$= \frac{ P_M \sim P_T }{ P_T + P_T } \times 100\%$ IM = IT Ki = 0%	但し $\begin{cases} I_M \rightarrow I_A \\ I_T \rightarrow I_B \end{cases}$
電圧不平衡率	$K_v = \frac{\sqrt{ P_1 ^2 + P_2 ^2} - P_1 P_2 }{P_s} \times 100\%$	$K_v = \frac{ P_M \sim P_T }{ P_s } \times 100\%$	同 左
Kv	但し, Ps (三相短絡容量)	但し Ps (三相短絡容量) (PM → PA, PT → PB) 変形ウッドブリッジの場合	

2.2.6 単巻変圧器 (AT) 容量の算定

(a) 単巻変圧器 (AT) 容量の定義とその電流容量

AT容量の表現には線路容量と自己容量という2つがあり、これらを明確にしておいてからATの容量を選択する必要がある。

図 2.8 自己容量 2 MVA の場合の定格電流分布

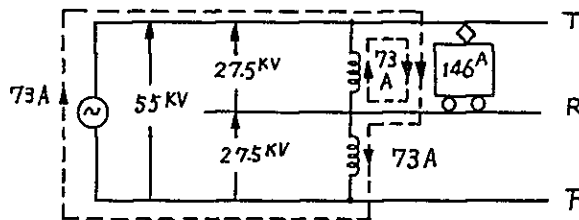


図 2.8 は自己容量 2 MVA の定格電流分布を示すものである。

すなわち、

$$\text{自己容量} = 27.5 \text{ KV} \times 73 \text{ A} = 2 \text{ MVA}$$

$$\text{線路容量} = 27.5 \text{ KV} \times 146 \text{ A} = 4 \text{ MVA}$$

となり、AT (1:1) の場合、自己容量の 2 倍が線路容量となる。

(b) AT 容量を決定する要素

AT は AT 近傍の負荷にのみ電力を供給するので閑散線区の場合は電気車最大出力の $1/5$ (自己容量) でよい。

また、き電回路短絡時の過電流に耐える必要があり、AT 線輪の定格電流の 25 倍以上の過電流を流してはいけない。

さらに、AT 1 台の故障時、上下 AT 併用方式を考慮するならば (電気車最大出力 $\times 2$) の $1/5$ (自己容量) としなければならない。

北京-天津間における電気車 1 編成の最大電流は 250 A (Max) (27.5 KV 系) と想定されている。従ってその出力は、

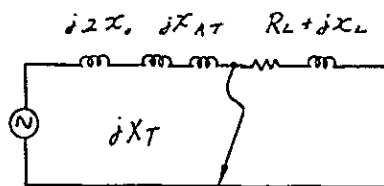
$$250 \text{ A} \times 27.5 \text{ KV} = 6.9 \text{ MVA}$$

となり、その $1/5$ は 1.4 MVA、その 2 倍は 2.8 MVA である。

故に、ダイヤが閑散な場合、AT 容量は 1.5 MVA、上下 AT 併用方式を採用する場合は 2 編成が AT 近傍を走行するとして 3.0 MVA の自己容量を必要とする。

以上は AT の電流供給面からの考察であるが、短絡過電流を 25 倍以下とする観点からみると次のようになる。

図 2.9 変電所直下の短絡回路



$$j 2 X_0 = j 2 \frac{55^2 \times 10^6}{2000 \times 10^6} = j 3.03 \Omega$$

$$j X_T = j \frac{55^2 \times 10.5 \times 10^6}{20 \times 10^6 \times 100} = j 15.9 \Omega \quad j X_{AT} = j 1.8 \Omega$$

$$\therefore I_s = \frac{55 \times 10^3}{j(3.03 + 15.9 + 18)} = -j 2.65 \text{ KA (55 KV系)}$$

なお、計算条件は

電源の三相短絡容量は 2000 (MVA)	}
Tr の %Z は 10.5 (%) (at 20 MVA Base)	
AT のもれインピーダンスは j 1.8 (Ω)	

とした。

次に、AT の自己容量と定格電流 (55 KV系) および短絡過電流強度 (25 倍) の関係を求めてみると表 2.3 を得る。

表 2.3 AT 自己容量と短絡許容電流の関係

AT 自己容量	定格電流 (55 KV系)	短絡許容電流 (55 KV系)	記 事
1 MVA	$\frac{1 \times 10^6}{27.5 \text{ KV}} = 36.4 \text{ (A)}$	910(A) × 25	SS 直下の短絡電流 は 2650 (A) (55 KV系)
2	72.7	1820	
3	109	2730	
4	146	3640	

すなわち、短絡許容電流の面からみると AT の自己容量は 3 MVA を必要とする。

(c) 結 論

以上の考察結果をまとめてみると次のようになる。

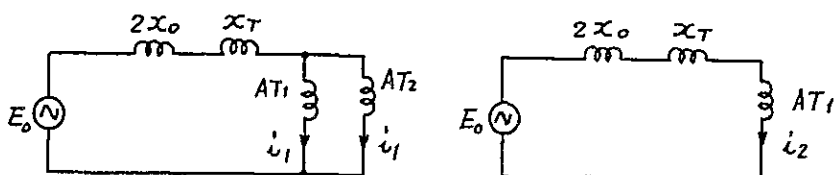
- i) 1 列車最大負荷電流を 250 A (27.5 KV系) とすれば、閑散線区の場合の AT 自己容量は 1.5 MVA , 2 列車に電力を供給する場合の AT 自己容量は 3.0 MVA を必要とする。
- ii) AT の短絡許容電流を 25 倍以下に押えれば、変電所直下の短絡電流が 2650 A であるので AT 自己容量は 3.0 MVA を必要とする。

よって、北京-天津間の電化においては AT の自己容量は 3 MVA が適切な値とする。

参 考

- i) 上下線並列にき電している場合、変電所直下の短絡事故に対しては、AT 1 個当たりの過電流はかえって減少する。

図 2.10 AT 並列運転時の短絡電流 ($i_1 < i_2$)



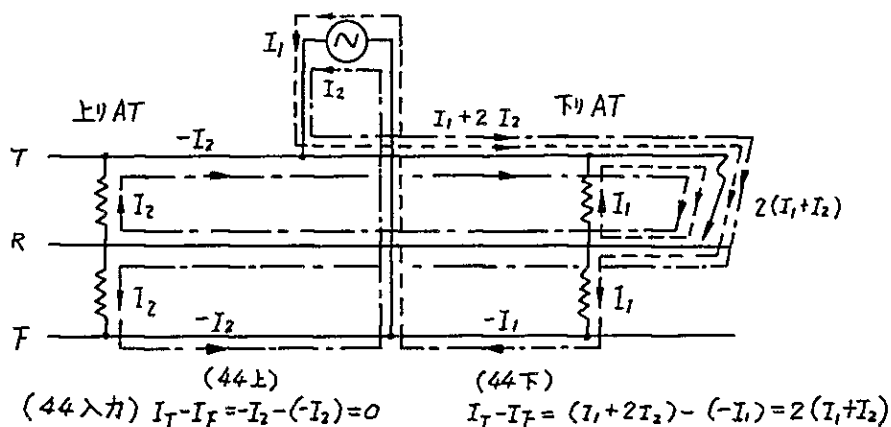
- ii) 主変圧器を 2 台並列運転とすると短絡電流は増大するので避けたいが、AT が上下 2 台入っている条件の元では許される。

- iii) 変電所の AT 容量を 3 MVA，変電所より 10Km 以遠の AT を 2 MVA とする提案もあるが、過密ダイヤである北京-天津間電化においては、全線 3 MVA であることが望ましい。付 1-7 に将来予想される京津線の運転ダイヤを示す。

(互換性, 予備器の運用, 上下 AT 併用方式等が便利)

- iv) 変電所の AT 2 台 (上下線) 運転時の地絡電流分布は次のようになり、AT 2 台から地絡点へ電力を供給する。

図 2.11 AT 2 台 (上下) 運転時の電流分布



2.2.7 き電回路定数の計算結果

A T き電回路における標準的な架線装柱図を電車線グループが作成し、それを元とし「Carson - Pollaczek の式」によりき電回路のインピーダンスを計算した結果表 2.4 を得た。

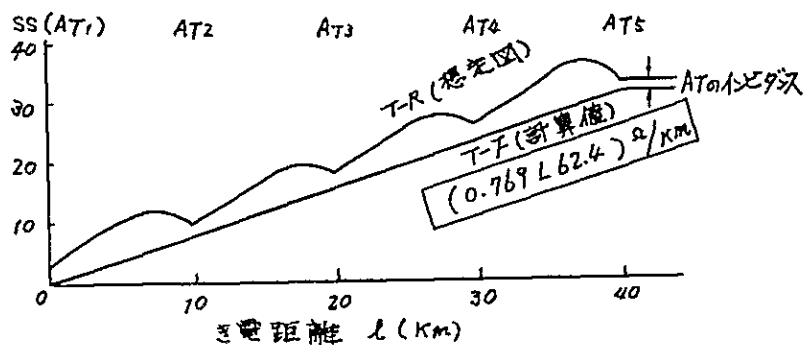
計算手法の詳細は付録付 1 - 8 を参照されたい。

表 2.4 き電回路定数計算結果 (55KV系)

項目と記号		計算結果 (Ω/Km)	
トロリーの大地帰路インピーダンス	Z_T	$0.244 + j 0.708$	$0.749 < 71^\circ$
フィーダの大地帰路インピーダンス	Z_F	$0.212 + j 0.754$	$0.78 < 74.3^\circ$
トロリーとフィーダの相互インピーダンス	Z_{TF}	$0.05 + j 0.34$	$0.344 < 81.6^\circ$
き電回路の T-F 短絡インピーダンス	$Z_T + Z_F - 2 Z_{TF}$	$0.356 + j 0.682$	$0.769 < 62.4$

以上の計算結果は日本国の 50Hz 区間における在来線、新幹線のインピーダンスの計算結果並びに測定結果よりみて妥当な値である。図 2.12 は A T き電回路の短絡インピーダンスを示す。

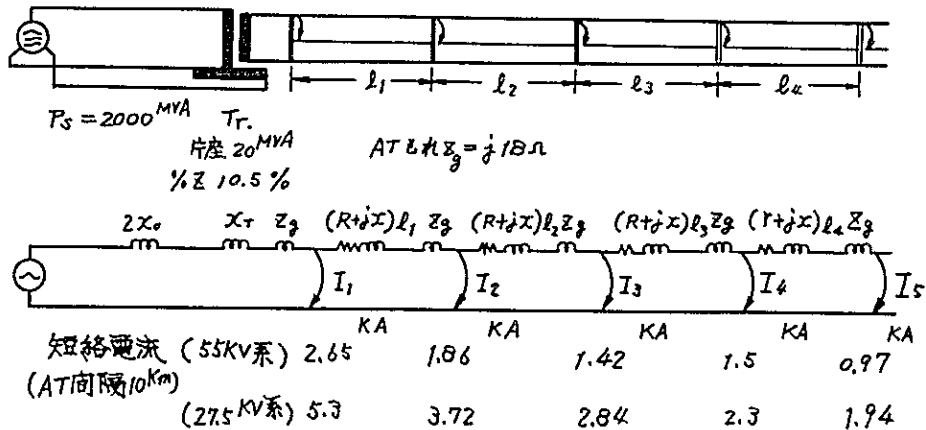
図 2.12 A T き電回路の短絡インピーダンス



2.2.8 ATき電回路のインピーダンスと故障電流

前項によりき電回路のインピーダンスが計算されたので、き電回路各点における故障電流を計算することができる。この故障電流値は、変電所機器、電車線の保護線（PW）等の設計に役立つ。

図 2.13 き電回路故障時の故障電流分布望



(手 法)

- (1) 全て 55 KV系のインピーダンスとして扱う。

(例)

$$2 X_0 = \frac{2 \cdot E^2}{P_s} = \frac{2 \times 55^2 \times 10^6}{2000 \times 10^6} = j 3.025 (\Omega)$$

$$X_T = \frac{E^2 \times \%Z}{P_T \times 100} = \frac{55^2 \times 10^6 \times 10.5}{20 \times 10^6 \times 100} = j 15.88 (\Omega)$$

$$R + jX = (0.35 + j 0.682) l (\Omega)$$

- (2) 電源電圧 55 KV / $\Sigma (R + j X)$ で 55 KV系の短絡電流を計算する。
 (3) 27.5 KA系の短絡電流は、55 KV系の短絡電流を 2 倍して求める。

2.2.9 き電回路の電圧降下

京津線でき電長の最も長いのは黄村 S S → 廊坊 S P 間の 43 Km 区間であり、この区間がき電回路の電圧降下が最も大きいものと予想される。そこで平常ダイヤにおける負荷位置と負荷電流を仮定してき電回路の電圧降下を算出して検討した。

- (1) 電車線電圧許容変動範囲

中国における電車線電圧許容変動範囲を日本の新幹線の場合と対比してみると表 2.5 に示すとおりである。

表 2.5 電車線電圧許容変動範囲

(単位: KV)

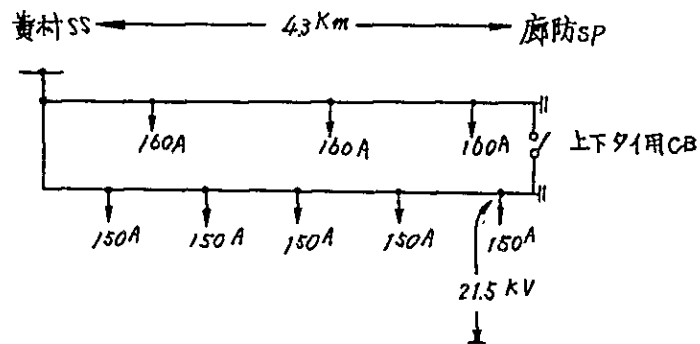
項 目	中 国	日本(新幹線)
最 高 値	29 (58)	30 (60)
主変圧定格電圧(55KV系)	(27.5) 55	(30) 60
標 準	25 (50)	25 (50)
最 低 値	20	22
瞬 時 最 低 値	19	20

() は参考値

(2) 電圧降下の計算結果(詳細は付1-9参照)

図 2.14 の電流分布において電圧降下を計算した結果、末端の最低電圧は 21.5KV が確保できることが分かった。

なお、このき電系統は上下分離方式であり、常時はSPおよびSSPで上下タイキ電を行っているので、電圧降下は更に有利となる。



(3) 結 論

電圧降下の計算結果、上下分離き電においても許容最低電圧20KVを下回ることはない。又上下タイキ電を行うことが定位である本き電回路では更に電圧降下は少なくなる。

従って、京津線電化においては、き電電圧を補償する直列コンデンサ装置や架線電圧補償装置を設備する必要はない。

2.2.10 き電回路の保護方式と故障点標定方式

(1) き電回路の保護方式

現在中国で行っているき電回路の保護方式は、距離継電器44-2段、過電流継電器1段により行い、44₁はアンダーリーチ、44₂はオーバリーチとし、その時間協調により故障区間を限定区分し、健全回線の停電を避けようとしている。(図2-15)

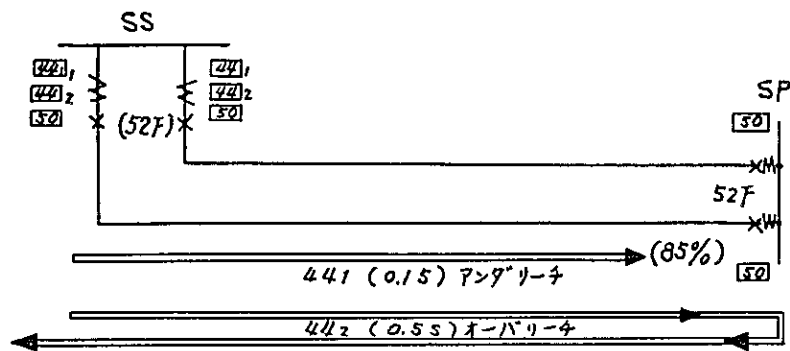


図 2 - 15 き電回路の保護方式 (中国の場合)

日本においても交流電化を適用した当初は、上記方式を採用したが、その後、高速度再閉路成功率[※] (約 80 %, 1957 年) の良好な実績を踏まえて数年後からはこの方式をやめ、主保護としては距離継電器 (44) 1 段 (オーバリーチ)、後備保護としては交流 ΔI 形故障選択継電器 (50 F) 1 台の方式に改め、現在に至っている。

注) 高速度再閉路

日本の交流き電回路では、き電回路の故障によってしゃ断器 (52 F) がトリップするとその 0.5 sec 後に 52 F を投入し、停電時間を極小に押えている。

日中両者の保護方式を比較した場合、一概にどちらがよいとは断定できない。保護方式の選定は「その国の人の思想」で決まるものである。要するにき電回路に短絡が発生した場合、確実に高速度に検出して電路を断ち、他系統への事故波及を避けるようにすれば良いのである。

(2) 変圧器保護用電流比率差動形継電器 (87 T) について

中国の 87 T の動作電流値は日本と比べて格段と大きい。87 T の使命は主変圧器の内部故障が発生した場合、その極めて初期に検出し電路を断ち、変圧器事故の拡大 (火災等) 等を防止するためのものである。

従って誤動作の起こさない範囲で小電流動作が望ましい。その後の調査により、中国の 87 T には変圧器励磁突流の誤動作防止回路が設けられていないためと分かった。

日本の 87 T はすべて第 2 高調波抑制方式のロック回路が組みこまれている。中国においても今後はこの方式を採用されるよう推奨したい。

(3) 結 論

(a) 中国におけるき電回路の保護方式は距離継電器 2 段過電流継電器 1 段によって行っており、日本の方式とは異なるが、これはこのまゝでよい。

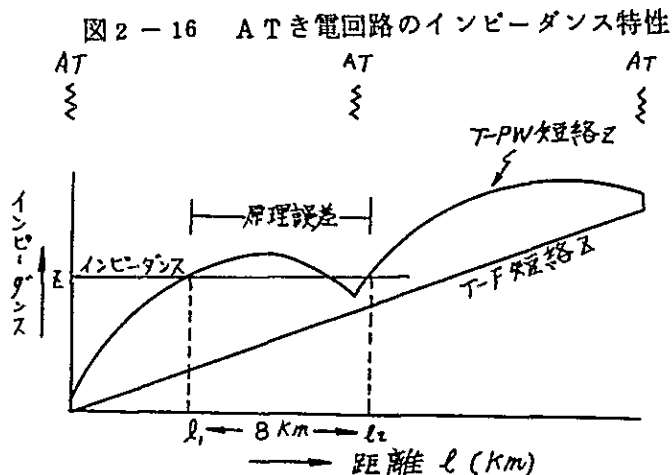
(b) 変圧器保護用継電器 (87 T) に変圧器励磁突流による誤動作防止回路を付加することを推奨する。

(4) 故障点標定方式

A T き電回路の短絡インピーダンスは距離に対して直線とはならないので、現在中国

の既設電化区間で用いられている「インピーダンス計測形」故障点標定方式では標定誤差が大きく実用できない。

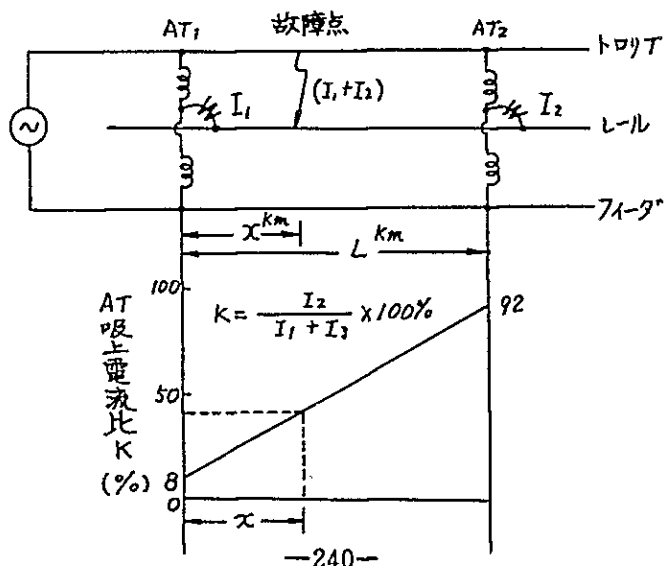
図2-16はATき電回路のインピーダンス特性を示す。図によって分かるように、ATき電回路に「インピーダンス計測形」の故障点標定器を適用した場合、その最大原理誤差は8km程となる。



筆者等はこれに対処し、全く新しい観点に立ち、ATき電回路用「吸上電流比式故障点標定方式」を考案した(1970年)。この方式は現在山陽新幹線全線(1975年)、日豊本線(1978年)及び北海道電化(1980年)に実用化され、その後の使用実績では、その標定誤差は1km以内と極めて良好であり、日本国内では関係者間で高く評価されているものである。

AT吸上電流比式故障点標定方式の原理は図2-17に示すように、き電回路短絡故障時、当該回線にあるATの吸上電流を測定記憶し、順次センタへ送る。センタではその吸上電流により故障点の位置(杆程)を算出するものである。AT吸上電流比と故障点位置との関係はほぼ直線関係にあり、計算は簡単である。

図2-17 AT吸上電流比式故障点標定方式の原理



結 論

京津線電化においてATき電方式が適用される場合、故障点標定方式はAT吸上電流比較式を採用することを推奨する。

また、その形式としては、情報伝送に遠制回路を使用しないもので、上下線のAT吸上電流の和を入力要素とする「北海道形」を経済的の理由で推奨する。

2.2.11 変電所、開閉所等の主回路結線図

付1-1～付1-5に標記の主回路結線図を載せたが、その内容について2～3の点を指摘してみたい。

(1) 変電所主回路結線図

(a) 受電用断路器の電源側避雷器の要、不要

日本の場合、2回線受電変電所では1回線が予備加圧の状態を考え、送電線路保護のため断路器の電源側に避雷器を設備している（新幹線の例）。中国の場合はないが、これは具体的設計段階の時点において、電力部と相談して決められるとよい。

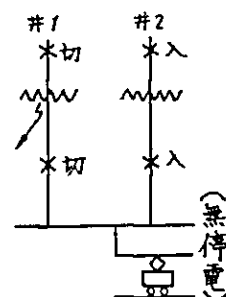
(b) 主変圧器2次側の遮断器の要、不要

山陽新幹線では主変圧器2台並列（無停電切替時の短時間）を考慮して4極遮断器を設備したが、東北、上越新幹線では主変圧器2台の並列運転は行わない鉄則として、その遮断器を無くした。

中国側の設計では、下記理由により当該遮断器を設備している。

図2-18 き電母線遮断器設備理由

- (1) 並列運転を行う場合が将来必ずある。
- (2) 並列運転時主変圧器の片方が故障してもき電系は停電させない保護方式を採用する。



(c) き電用PTのうちF-E(R)用PTの要、不要

新幹線ではき電母線の地絡保護（64B）、異相短絡保護（84AB）方式を採用しているので、GPTによりF-E用PTを用いているが、在来線では適用していない。

中国の場合、上記保護方式を採用していないのでF-R用PTは不要ではないかと

思われる。距離継電器入力電圧はT-R用PTを用いればよい。但し、インピーダンス（リアクタンス）計測形故障点標定方式を用いる場合はF-R用PTは必要となる。

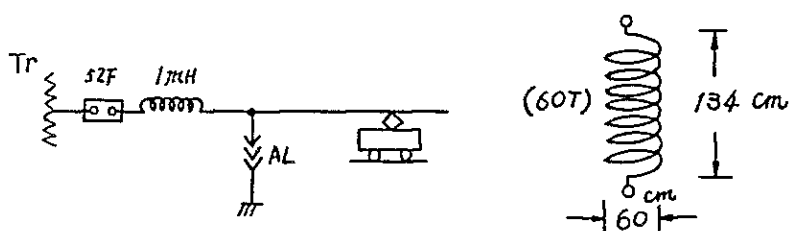
(d) 防雷用線輪について

石家荘近傍のBTき電回路では、図2-19のような防雷用線輪が使用されていた。

聞くところによるとポーランドからの技術導入とのことであるが、日本ではこのような設備は採用しておらず、変電所のき電側が襲雷で特に困っている事実はない。

今回の変電所結線図には防雷線輪は入っていない。避雷器の特性にもよるが、日本の実績からみてこれでよいと考えられる。

図2-19 防雷用線輪（石家荘近傍）



(2) き電区分所の主回路結線図（SP）

(a) 自動切替遮断器設備の設置

結線図をみてすぐ気付くことは、SPに切替しゃ断器の設備が設置されていることである。同一異相セクションを有する変電所にはなく、き電区分所（SP）にだけ設置する理由とその目的は、下記に述べるとおりである（その詳細は本文2.2.14章参照）。

i) 中国では将来の高速度運転および山岳地帯の電化（勾配の急な所にデッドセクションを設けると、電気車がノッチオフして通過することが困難）に備えて自動切替セクション方式の技術を経験しておきたい。

ii) 北京-天津間は勾配も少なく（最大4%）、当面は100~140 Km/hを目指しているので、切替セクションの必要性はないが、前記に備えて今回の電化で、1箇所だけ設備したい。

(b) SPの継電保護方式

SPでは高速度短絡保護50F、過電流保護51Fを採用しているが、これは従来の技術を活用しているので良いと思う。

(c) OTの2次電圧が380V又は220Vであることに、筆者等は一寸奇異に感じるが（日本は110V、220V）、これは中国の低圧の標準電圧（三相380V、単相220V）によるもので、中国では110Vが一般に用いられていないからである。

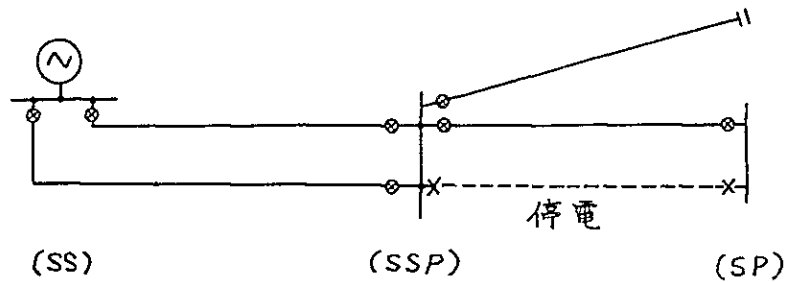
(d) 延長用の遮断器は無く、断路器はある（原則として延長き電はしない。）。

(3) き電開閉所の主回路結線図 (SSP)

中国ではSS-SP中間点や多回路の分岐点等にき電開閉所が設けられている。
その設置理由は下記のとおりである。

(a) ATPき電回路は1き電区間長が長いので区分して停電保守間合を確保する。

図2-20 SSP設置理由の1例



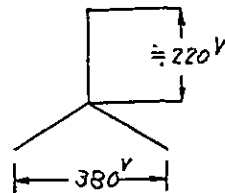
(b) 結果的に上下タイ個所が増え、き電電圧降下の改善に役立つ。

(4) 単巻変圧器設置所 (ATP)

PTが必要かどうかを検討する必要がある。

※(注)

※(注)



2.2.12 力率、電圧降下等の補償方式

き電回路においては、電気車の力率を改善するために、並列コンデンサ(以下PCという。), き電用変圧器のリアクタンスを補償して電圧降下の救済を行うための直列コンデンサ(以下SrCという。), または変圧器のタップをサイリスタスイッチによって自動的に切替えて電圧調整を行う架線電圧補償装置(以下ACVRという。)が用いられる。

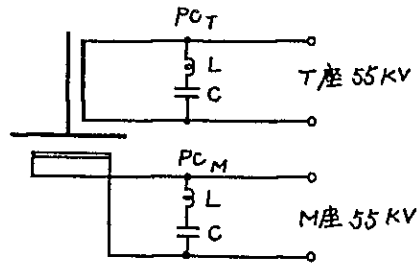
北京-天津間の電化で上記機器を使用する場合、技術的内容について以下に考察する(SrC, ACVRは京津線で不要なので削除。)

並列コンデンサ(PC)について以下に述べる。

(1) PCの挿入方法

スコット結線変圧器において、PCを適用する場合は、変圧器2次側(55KV)のM座T座に同一の定格容量のものを設備するのが一般である(図2-23)。

図 2 - 23 並列コンデンサの挿入方法



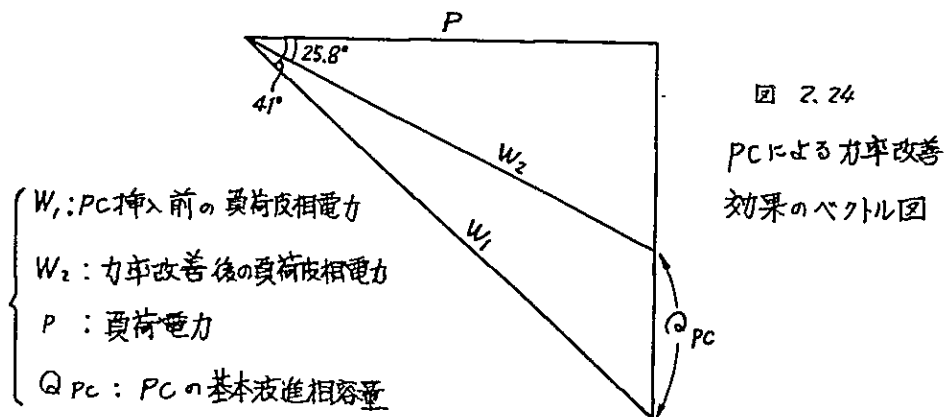
(2) PCの基本波進相容量(定格容量)

変動する電鉄負荷に対して適切なPCの基本波進相容量を決定することは極めて難しい。すなわち、PCの定格容量決定に当たっては当該線区の負荷無効電力の継続時間特性の把握及び電力部における無効電力、有効電力の計量方法、力率の算定基準等をも考慮する必要があるからである。

日本の場合は経験的な値を採用し、同一線区では同一定格容量のものを採用している。すなわち、在来線は1~2MVA、新幹線では標準で6MVA、山陽新幹線では一部増設して12MVA(何れも片座)としている。

北京-天津間の列車運行は密(7~10分ベッド)であり、貨物輸送においては停車駅も少ないところから、その負荷率も極めて良好であることが想定される。このような場合はPCの有効活用が期待できる。

図 2 - 24 PCによる力率改善効果のベクトル図



いま仮に、片座分の平均電力 W_1 を10MVAとし、力率を0.75から0.9まで改善したい場合のPC容量を計算してみると次のようになる。

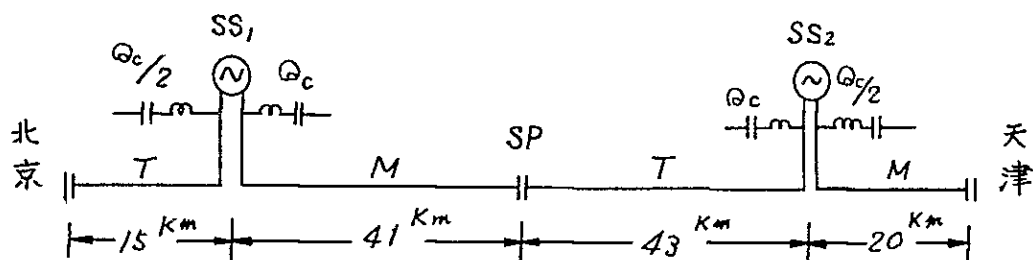
$$P = W_1 \cos 41^\circ = 10 \text{ (MVA)} \times \cos 41^\circ = 7.5 \text{ (MW)}$$

$$Q_{pc} = 7.5 \text{ (MVA)} (\tan 41^\circ - \tan 25.8^\circ) = 2.9 \text{ (MVar)}$$

よって、PC容量は3 MVar を必要とする(片腕分)。

北京-天津間の電化では、電源供給点の位置の関係により、M座、T座負荷区間距離がほぼ1:2の関係にあるのでPC定格容量も1:2の関係にしておき、将来電化区間が延長された時点において増設し、PC容量を同一とすることが経済的な方法である。

図2-25 北京-天津間電化開業当初におけるPC容量



(3) PCの高調波吸収効果

PCはコンデンサ Ω 数と直列リアクトルの Ω 数の比 $X_c : X_L$ を電鉄用の場合100 : (13~15), 三相電力用の場合は100 : (5~6)に設計されるのが一般である。

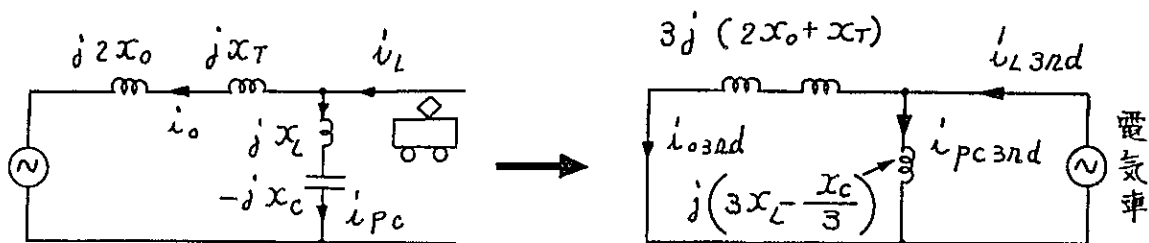
この理由は、系統に発生する高調波の最低次数〔電鉄の場合 $n=3$, 三相電力の場合 $n=5$ (n :高調波次数)]においてPC装置のリアクタンスがL性であることが要求されるからである(高調波拡大現象防止のため)。

上記により電鉄用PCにおいては、第3高調波電流の吸収効果が生じ、 X_L が X_c に対し11.11%の完全共振において最もその効果を発揮する。然し、完全共振回路では電気で発生する第3高調波電流のほとんどがPCに流れこみ、PCが過負荷になる恐れがあるので、日本の場合12~13%程度としている。

図2-26は、PCの第3高調波電流に対する等価回路を示すものである。

PCは第3高調波電流に対する吸収効果はあるが、それ以外の高調波電流($n=5, 7, 9, 11, \dots$)に対しては吸収効果は少ない。

図 2 - 26 PC の第 3 高調波電流に対する等価回路



$2 X_0$; 電源の単相回路インピーダンス

X_T ; き電用変圧器 (片座分) のインピーダンス

$\left. \begin{array}{l} jX_L \\ jX_C \end{array} \right\}$; PC のインピーダンス

$$i_{o3rd} = \frac{j \left(3X_L - \frac{X_C}{3} \right)}{j \left[3(2X_0 + X_T) + 3X_L - \frac{X_C}{3} \right]} I_{L3rd}$$

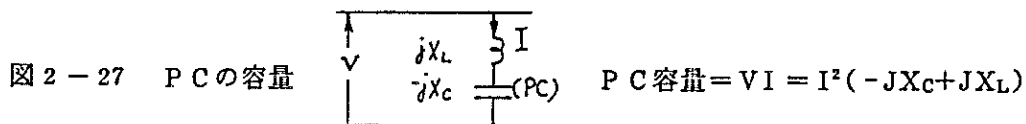
$$i_{pc3rd} = i_{L3rd} - i_{o3rd}$$

(d) PC 装置の保護方式

PC 装置は次のような保護方式により保護する必要がある。

- 63 L 直列リアクトルの内部圧力検出
- 26 L " の内部温度上昇
- 50 PC PC 装置の短絡
- 51 PC PC 装置の第 3 高調波過電流
- 60 C コンデンサの素子破壊 (差電圧検出方式)

※ PC 容量とは次に定義するものである。



2.2.13 変電所遠方制御方式

日本国鉄で採用している遠制方式の種別としては

- 鉄研 B 形を母体とした各種継電器式 (在来線)
- 鉄研 H₂形 静止形 (東海道新幹線)
- 鉄研 H₃形 静止形 (山陽新幹線)

鉄研W形 静止形 (東北・上越新幹線)

ICサイクリック形 (国鉄自営発電系統)

等で多方式にわたっている。

日本国鉄で初めて遠制装置を採用したのは1960年頃であり、その後周辺技術の発展(特に半導体製造技術とICに関するソフトウェアの急進展)と共に改良を加え、新電化を機会に適用、または既設設備の改良工事等を行いながら今日に至っている。ところが、中国ではこれから遠制技術を導入するのであるから、この完成された技術のうち、どれを選択するかが課題となる。

多方式の遠制装置を採用すると保守要員の教育、互換性の欠如等で甚だ経済性を損う。

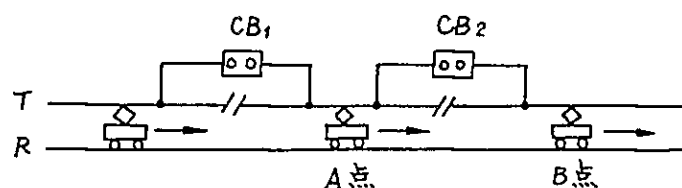
以上の理由で中国が遠制方式を選択する場合は、慎重に行い、少なくとも30年以上は同一方式を各線区に適用し、他方式は導入しないという気構えで検討すべきと考える。

現在のところ中国側は鉄研H₃形(山陽形)を希望しているようであるが、今回の討議では結論が出ず、後日改めて検討されることを望みたい。

2.2.14 電車線自動切替セクション装置

日本の新幹線では200 Km/h以上の高速運転を行っているため、切替セクション装置を設け(1964)、電車が異相セクションを通過する際、シャ断器(ABB, 最近はVCB)により切替えて、電車は力行できるようにしている。

図2-28 切替セクションの構成とその切替法



切替シャ断器は多頻度(4万回/年程度)が要求される(新幹線)。

従って、CBの保守が大変である。日本の新幹線の経験では、

ABB 1~2万回毎に部品取替, 20万回で寿命終了

VCB 5万回毎に点検, 部品取替

10万回毎に点検, バルブ取替

等であり、余程の必要性(高速運転, 急勾配の異相セクション等)がない限り推奨はできない。

日中討議の結果、京津線では下記に目標を定め、SP1箇所だけ設備することになった。

- (1) 切替セクション技術力（信号伝送回路も含め）の習得
- (2) VCB製作技術（多頻度性能、保守点検も含め）の向上

2つのセクションの間隔は電車運転を考えると長くなるが、上記の目的を考えると短かくともよい。電車線工事や信号回路との協調によって決められるべきである。

なお、列車位置の信号は、信号軌道回路から得ることが最も信頼性が高い。

3 電車線路設備

3.1 設備条件

3.1.1 自然条件

自然条件は、観測記録及び調査結果より北京-天津間の電車線路に次のような数値を標準として用いる。

- (1) 気温 標準温度の設定は、設計施工面の基準設備が作られることと、温度の高低に対しての設備の把握がし易いので設定した。

標準温度 10℃ 最高温度 40℃ 最低温度 -20℃とする。

- (2) 風速 最大 25 m/sec 支持物に対する強度計算条件と運転状態における架線風圧偏位計算条件の区別はしない。この場合、温度は10℃とする。

- (3) 着氷 5 mm厚とし、気温 -5℃、風速 10 m/sec とする。

- (4) 雷 年間の襲来は40回程度で中雷地区である。

- (5) 塩じん害 北京-天津間は内陸で塩害対策については特別に考えない。

じん害は、楊村（駅舎）～天津間を対称とする。

- (6) 土質 土質の変化は、少ないと思われる。一般的に砂質粘土又は普通粘土で中程度の強度を有し、

重量は 1600 kg/m³、安息角は 30° 程度

3.1.2 線路条件

- (1) 軌道 道床厚、駅中間 960 mm 構内 800 mm

軌条 50 kg/m 使用、一部 60 kg/m に交換中である。

将来、全線スラブ化する予定

- (2) 曲線半径 天津構内の一部 260 m 区間の外は 600 m 以上である。

- (3) 勾配 4%以下で電車線設備に対する縦曲線は問題ない。

- (4) カント 標定速度は現在 115 Km/H、将来 140 Km/H とするが、曲線部分の実速度

は、標定速度の80%とし、これに合せてカントを求める式は次の通り。

$$h = 7.6 \frac{V^2_{\max}}{R} \quad \text{但し, } V_p = 0.8 V_{\max} \quad V_p = \text{実速度}$$

$$h = 11.8 \frac{V^2_p}{R}$$

(5) 構造物 電車線路設備が制約を受ける跨線橋は下表の通りである。

表 3 - 1

	跨線橋名	高 さ		跨線橋巾	記 事
		上 り	下 り		
1	永定門駅人道橋	6650 ^{mm}	6650 ^{mm}	4500 ^{mm}	
2	豊台駅人道橋	6650	6650	5500	
3	豊台駅道路橋	5940	5800	10000	R.C橋脚間 2,200 ^{mm} 以上
4	豊双線鉄道橋上り	6780	6780	5000	// 2,500 ^{mm} //
5	“ 下り	6770	6770	5000	// 2,500 ^{mm} //
6	黄村駅道路橋	6550	6550	5000	
7	廊坊駅 “	6150	6150	5500	R.C橋脚間 2,500 ^{mm} 以上
8	北環線鉄道橋	5950	5950		
9	天津北駅人道橋	6150	6150	8000	
10	天津駅人道橋	6150	6150	8000	

跨線橋の高さは、一般的要求は 6850^{mm}

最低 6550^{mm} 必要である。

特別対策を施した場合 6200^{mm}、但し、入換駅は問題となる。

従って6550^{mm}以下の跨線橋は盤下げその他改良が必要と思われる。特に豊台跨線道路橋については殆ど改良の余地が残されていないので別途検討する。

3.1.3 限 界

(1) 電柱建植位置

電柱の建植ゲージは建築限界、旅客の流動等から次の様にする。

(a) 駅 中 間

表 3 - 2

曲 線 外 方		曲 線 内 方	
曲 線 半 径	建 植 ゲー ジ	曲 線 半 径	建 植 ゲー ジ
直 線	2500 ^{mm}	直 線	2500 ^{mm}
$R > 4000\text{ m}$	2600	$R > 4000\text{ m}$	2700
$4000 \geq R \geq 800$	2600	$4000 \geq R \geq 1800$	2700
$800 > R \geq 300$	2700	$1800 > R \geq 1200$	2800
		$1200 > R \geq 300$	3100

(b) 駅 構 内

ホーム（一面一線） R.Cから5 m

ホーム（一面二線） ホーム中心

一般区間3 m，但し，表3-2の数値が大きい場合及び単独柱は表3-2による。

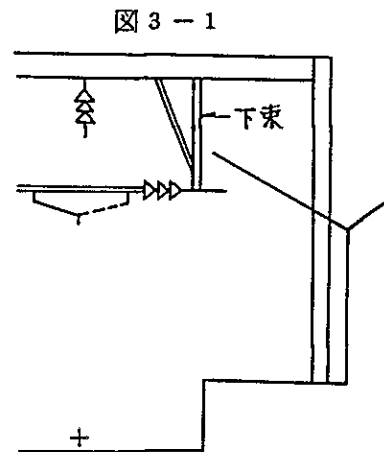
(2) 車両の高さ，その他

表 3 - 3

一般車両，機関車高さ	4800 mm	パンタグラフ折たゝみ高さ	4783 mm
貨車積荷高さ	5000 mm	パンタグラフ作用高さ	5130 ~ 6680 mm
かつ大貨車積荷高さ	5300 mm	パンタグラフ圧力	6 ~ 8 kg

(3) ホーム上屋の問題点

永定門，天津，天津西，天津北の各駅のホーム上屋が7 m以上有り，スパン線ビームが問題あるために左図のような固定ビーム方式によって解決できる。但し，曲線の外側になるホームの場合は点線の金具の取付に検討が必要である。



(4) 線間確保の問題，永定門，南倉操，天津操の各駅

スパン線ビームは8線以上問題あるとすれば，現在日本で60 mの固定ビームが使用されている。両端の用地確保が出来れば満足できる長大ビームが可能と思われる。荷重の

検討については、風速、自重、曲線等によるほか、長大ビームの温度変化による応力も検討する必要がある。

3.1.4 安全率

電車線路は予想される風圧、荷重、電線張力等に対して次表のような安全率を確保する。

表 3-4 安全率

大別	品名	条件	安全率
電線	硬銅線	引張荷重に対して	2.5以上
	硬アルミヨリ線	引張荷重に対して	2.0以上
	鋼ヨリ線	引張荷重に対して	3.0以上
支持物	鋼材	降伏点強度に対して	(1600 kg/cm ²) 1.5以上
	コンクリート柱	ひび割れに対して	1.05以上
		破壊荷重に対して	1.5以上
	鉄柱基礎	耐荷重に対して	2.0以上
がいし	長幹がいし	曲げ破壊荷重に対して	2.5以上
		引張破壊荷重に対して	2.5以上
	懸垂がいし	課電破壊荷重に対して	2.0以上
その他		破壊荷重に対して	2.0以上

(1) 硬銅線（トロリー線）

張力変動を20%考えると摩耗が15%で取替が必要となる。トロリー線は、取替設備であるから安全率2.2程度にすると摩耗が30%以上となるので検討する必要がある。

(2) 硬アルミヨリ線

接続部の張力低下を考慮する必要がある。

3.1.5 絶縁隔離

絶縁隔離は衝撃電圧波高最大電圧によって決定される。

衝撃比 $\eta = \frac{\text{衝撃破壊電圧}}{\text{商用周波最高電圧}}$ で表わされ、 η は普通 1.5 ~ 2.0 である。

使用電圧 E (KV), 最高使用電圧 $1.2 E$, $\eta = 2.0$, 裕度 1.6 (20 KV ~ 70 KV では 1.2 ~ 1.6 程度) とすると、予想される衝撃電圧波高最大電圧は、

$$V_{\max} = 1.2 E \times \sqrt{2} \times 2.0 \times 1.6 \quad \text{となる。}$$

参 考

日本における対地間の商用周波放電電圧測定値は、間隙 250 mm 及び 150 mm において、乾燥状態で 1.7 ~ 2.0 mm/KV, 湿潤状態で 2.5 ~ 2.6 mm/KV であった。

離隔距離は次の通りとする。

表 3 - 4

種 別	条 件	電車線又はき電線	A T 保 護 線
対 接 地	車両等動くものの場合	350 以上 ^{mm}	
	一般の場合	300 以上	150 以上 ^{mm}
	やむを得ない場合の縮小限度		70 以上
	瞬時接近の場合のみの縮小限度	200 以上	30 以上
き電線又は電車線との線間	一般の場合	600 以上	300 以上
	やむを得ない場合の縮小限度	500 以上	

パンタグラフと A T き電線 (A F) の接近については、パンタグラフの建築限界を侵さなければ 620 mm 以上の離隔の確保ができる。瞬間的に車両動揺が 200 mm あっても問題がない。また、き電線の引出し等の線間は、風の息を考慮に入れることが必要である。

3.2 き電系統及び架線方式

3.2.1 き電系統

き電系統図 (架線範囲含) は付 2 - 1 による。

(1) 構内の分離

事故区分及び構内作業を考慮して、非常用にセクション及び断路器を討議の結果、駅構内の外方に設備する。

(2) 自動切換セクション

高速運転区間及び山間部の電化対応として廊坊の S P に試験的に設備する。

(3) 架線範囲

き電系統図の実線で示す範囲である。

(4) セクション位置

系統区分 (S S , S P , S S P) , 上下区分, 構内の分離及び構内の群線区分用のセクション位置は、時間の関係で検討できなかった。

3.2.2 架線方式

架線方式を決定するには、架線の特性を検討する必要がある。架線の特性は、(a)波動伝播速度、共振速度等の架線の振動の伝達に関するもの、(b) 押上げ量を均一化して離線率をよくするための架線のバネ定数に関するもの、(c) 押上げ量によるトロリー線の曲げ応力と押上げ量（振動の大小になる。）による線返し応力が線条及び金具類への影響等多方面にわたって検討されている。しかし、架線系の検討は机上計算のみで解決されるものが少なく、経験則（長年の測定等）による部分が多い。一般に 140 Km/H ~ 160 Km/H の速度では、列車の速度より振動の速度の方が相当速いために振動伝達関係については殆んど問題がないといえる。

離線については、日本においても架線特性上明確な判定基準はないが、3%程度以下が好ましいとされている。

押上げ量については、トロリー線の曲げ応力による疲労と振動からくる架線系全体の疲労及び架線金具相互の接点箇所の摩滅が問題になる。

日本の東海道新幹線に見られるように、軟かい架線は、押上げ量が大きく架線系の疲労が早い。特にトロリー線の摩耗と金具類の損傷が激しい。一方在来線においては、列車の速度向上と輸送力増強に伴って2t系のシンプル及び変Yシンプル架線の弱点を補うため3t系のヘビーシンプル架線化の工事を進めている。

Y線の目的は、支持点と径間中央のバネ定数の均一化を計るものでトロリー線の曲げ応力を減少する役目を果たすとともに離線率の低下を期待したものである。しかし、Y線による逆効果も生ずる。これについては後で検討する。

(1) 架線方式による特性の簡単な比較

表 3 - 5

架線方式	限界速度 m/sec	Tro曲げ応力 kg/mm ²	静押上量		バネ定数 kg/m	記事	参 考
			支持点	18 mm			
シンプルカタナリー st 70 1000 kg cu 100 1000 kg	115	4.0	支持点	18 mm	450		新幹線のTro曲げ応力 kg/mm ² 東海道 山 陽
			中間	65	123		
変Yシンプルカタナリー st 70 1000 kg cu 100 1000 kg	115	(3.6)	支持点	(36)	(220)	()内は 実験等 による 推定値	M 4.0 2.1
			中間	65	123		A 4.6 2.3 T 3.3 2.1
ヘビーシンプルカタナリー st 100 1000 kg cu 100 2000 kg	166	3.6	支持点	13	600		在来線100 Km/Hで2.0 疲労限度 15 kg/mm ²
			中間	43	185		

静押上げ量 (a) 支持点

$$Y = \frac{P_0 \ell}{4 \Sigma T} \times 1000 \text{ mm}$$

(b) 中間

$$Y = \frac{P_0^2}{8 W_T} \left(\frac{1}{T_m} + \frac{1}{T_t} \right) \times 1000 \text{ mm}$$

トロリー線の曲げ応力

(a) トロリーに加わる力 $P \text{ kg}$ $P = P_0 + aMW$

(b) トロリー線の曲げ応力 $\sigma \text{ kg/mm}^2$

$$\sigma = \sqrt{\frac{E}{T_t \cdot A}} \cdot P \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^2$$

但し、 P_0 : パンタグラフ押上げ力 8 kg ℓ : 径間 65 m

W_T : トロリー線重量約 0.9 kg/m T_m : 吊架線張力 T_t : トロリー線張力

a : 動押上量の $1/2$ M : パンタグラフ等価質量 $2.0 \frac{\text{kg} \cdot \text{s}}{\text{m}}$

ω : $2\pi \frac{V}{\ell}$ [$1/\text{s}$] V : 列車速度 m/sec

E : 銅の弾性係数 $1.2 \times 10^{10} \text{ kg/mm}^2$ A : トロリー線の断面積 $100 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

トロリー線の曲げ応力は、押上げ量と使用電線の張力及び断面積によって決定する。このため、硬い架線及びトロリー線の太いものが効果的であろう。

変Yシンプル架線の()内数値は試験測定結果等による推定値で、パネ定数はヘビーシンプルの約 $1/3$ 程度との試験結果がある。

(2) 北京-天津間の架線方式の検討

変Yシンプル架線とヘビーシンプル架線が検討候補に上がったのでこれについて比較する。

表 3 - 6

大別	細目	変Yシンプル架線	ヘビーシンプル架線	記事
設備関係	設備の簡素化	× Y線のため複雑	○	
	架線調整	× Y線調整難しい	○	
	設備投資	△	▲	幾分ヘビーの方が高くなると思われる。
	架線金具	△ 従来通り	▲ 部分的に新しい金具	
	電柱の強度	△	▲ 曲線箇所強化	直線区間が多い
架線特性	押上量	× 大きい	○	
	トロリー線応力	△	△	殆んど変わらない
	架線振動	× 大きい	○	

上表を比較すると一部変Yシンプル架線の有利な点がみられるが、全般的には、ヘビ－シンプル架線の方が有利の点が多い。

(3) Y線の効果と欠点

Y線の効果は、先に述べたように支持点の硬さを緩和し、押し上げ量の変化を少なくすることによってトロリー線の曲げ応力の軽減が最大の目的で、同時に離線率の通減も幾分計られる。一般に架線の押し上げ量を略記すれば図3-2のようになる。

変Y架線の欠点

(a) 支持点を軟かくする

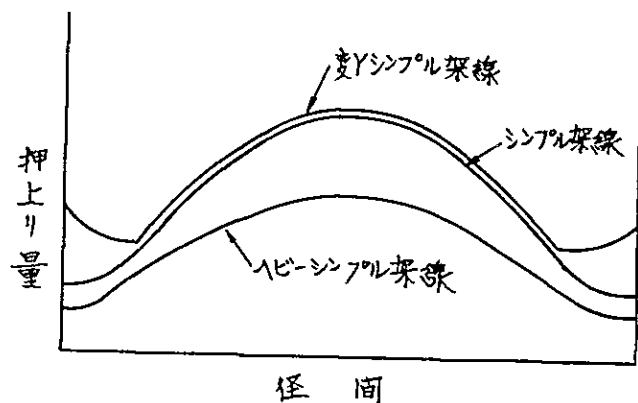
ことによってシンプル架線よりわずかに押し上げ量が大きくなる。

(b) Y線の調整が難しく、

調整が悪いとシンプル架線よりも架線特性が低下する。特に高速運転になると最大押し上げ量が径間中央から支持点に寄ってくるため、

より特性の低下をきたすものと思われる。この最大押し上げ量が径間中央から支持点への移行は、討議の時説明したシュミレーション結果を参考にして頂ければ理解できるものと思う。

図3-2



(4) プレサグ

東北新幹線小山試験線で径間長の1/1000以下のプレサグをトロリー線につけて試験した結果、特性の低下はないが特性の向上についての明確な数値は得られなかった。トロリー線の摩耗によるホグ化対策として1/1000程度のプレサグであれば問題がないと思われる。

(5) 架線方式の決定

北京-天津間の高速運転対応架線としてヘビ－シンプル架線が好ましいことを提案し、討議の結果、架線方式はヘビ－シンプル架線を採用することとした。

なお、電線の線種及び張力は、

- a 吊架線 鋼ヨリ線 100 mm² 張力 2000 kg
- b トロリー線 硬銅線 100 mm² 張力 1000 kg

とすることにしたが、できれば一周り太い線の使用によって架線特性の向上が計られる。

3.3 電車線構造

3.3.1 電車線装柱

電車線装柱は、設備の基本になるもので架線構造、支持物等すべての電車線路に関する検討を行って、線区の標準的な姿を決定することが望まれる。北京-天津間の支持物に固定ビームを採用することにより、標準的な電車線の装柱は次の通りである。

- | | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| (1) 付2-2 駅中間標準装柱図可動ビーム式(直線区間) | } 複線区間を対称とする |
| (2) 付2-3 駅中間標準装柱図可動ビーム式(曲線区間) | |
| (3) 付2-4 駅中間標準装柱図スパン線ビーム式 | } 3線以上の区間で本線以外の同時電化、または非電化を考慮する。 |
| (4) 付2-5 駅中間標準装柱図固定・可動ビーム併用式 | |
| (5) 付2-6 駅中間標準装柱図固定ビーム式 | |
| (6) 付2-7 駅構内標準装柱図スパン線ビーム式 | } 駅構内の長大径間を対称にしたもの |
| (7) 付2-8 駅構内標準装柱図固定ビーム式(I) | |
| (8) 付2-9 駅構内標準装柱図固定ビーム式(II) | |

a 3線以上の区間、本線以外の非電化線が将来電化する場合固定ビーム方式は、スパン線ビームの調整が不用のため、後の電化がし易い。

b 駅構内の多線区間においてスパン線ビームの施工調整を緩和するために一部採用に踏切った。付2-8は、ホーム箇所などの架線が輻湊しない箇所に設備し、付2-9はポイント箇所などの架線が輻湊する箇所に設備する。

3.3.2 曲線半径と径間

(1) 中国の考え方

径間は、曲線及び直線のジグザグ偏位と風による偏位及び車両動揺による偏位を考慮し、風の偏位と車両動揺は重ならないものとしている。径間割は、表3-7の通りである。

表3-7 径間割

径間	曲線半径	偏位	横張力	引土力	記事
40 ^m	300 ^m	667 ^{mm}	133 ^{kg}	26 ^{kg}	
45	400	633	113	22	
50	500 ~ 600	625 ~ 521	100 ~ 83	19 ~ 16	
55	700 ~ 800	540 ~ 473	79 ~ 69	15 ~ 13	
60	1000 ~ 2500	450 ~ 180	60 ~ 24	12 ~ 5	
65	> 2500	< 211	< 26	< 5	

但し、引上げ力は曲線引の角度を 11° と

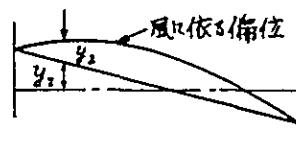
図 3 - 3

した。

また、偏位量 y_{max} の計算式は次による。

$$y_{max} = y_1 + y_2 + 20$$

20 mm は風による柱の撓み



(2) 径間と架線特性

表 3 - 7 で理解できるように曲線半径が小さい場合の径間は偏位だけ考えると横張力による架線の引上げが働き架線構造を变形させ、集電特性を低下させる恐れがある。従って偏位と同時に横張力の逓減も考える必要があるものと思う。

(3) 天津駅構内の 260 m 半径について

中国側の提案は径間 35 m であるが、横張力が 135 kg にも達するので径間の縮小などの措置をとることが好ましい。

(4) 径間割

構内においては本線と側線が交叉する渉り線箇所を最重点にして側線が曲線引によって浮上がないようにする。

また、異系統区分の碍子をなるべく少なくすることも径間割の役目となる。

(5) 径間比

径間比はなるべく小さい方が架線の状態を良好に保つことができる。

電線張力 P_1, P_2 は

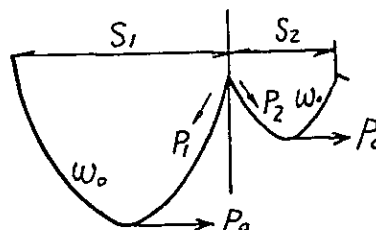
$$P_1 = P_0 + \omega_0 S_1/2$$

$$P_2 = P_0 + \omega_0 S_2/2$$

図 3 - 4

径間比が大きい場合の問題点

- a 電線の張力差のために流れ易くなる。
- b 大きな温度変化になると S_1, S_2 径間の P_0 に差が生ずる。



(6) ま と め

径間は架線特性に密接な関係がある。その点を十分考慮して、北京 - 天津間の高速架線に対応する必要があると思われる。

3.3.3 電車線線種と張力

本線	吊架線	鋼ヨリ線	100 mm ²	張力	2000 kg
	トロリー線	硬銅線	100 mm ²	張力	1000 kg

側線	吊架線	鋼ヨリ線	70 mm ²	張力	1500 kg
		硬銅線	85 mm ²	張力	850 kg

3.3.4 トロリー線高さ、勾配、ハンガー間隔及び架高

(1) トロリー線高さ

- a 一般区間 標準 6000 mm (5700 mm～6000 mm)
- b 大駅構内 6450 mm 北京, 豊台, 南倉, 天津等
- c 最低 5370 mm かつ大貨物(5300 mm)通過時はき電停止
- d 跨線道路橋等による架線低下 5650 mm

(2) トロリー線勾配

本線 3% 施工困難な場合は5%まで許される。
側線 本線と同様である。

(3) ハンガー間隔

10 m 標準 (7 m～10 m)

(4) 架高

駅中間 1300 mm
駅構内 1700 mm

3.3.5 流れ止め装置

これは架線の流れと断線事故の波及を限定する目的で取付けられている。

(1) 架線の流れ

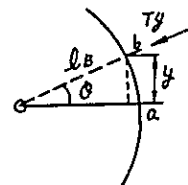
架線の流れは、(a)勾配によるもの、(b)バランサーの不均衡によるもの、(c)列車の運転によるもの、(d)曲線区間の温度変化によるもの等がある。この内、(b)、(c)は保守の点検によって調整可能である。また、勾配も4%程度であれば問題とならない。

(d)の曲線区間については図3-5のように温度変化によって架線が移動した場合、この偏位を戻す力 P_y は、

$$P_y = T_y \sin \theta \cong T_y \cdot \frac{y}{L_B} \quad \begin{array}{l} T_y: \text{曲線による横張力} \\ L_B: \text{可動ブラケット長さ} \end{array}$$

で大きな力が必要となる。

図 3 - 5



(2) 断線事故防止

断線事故はあってはならない。仮にあった場合に事故を限定することは大切なことである。しかし、日本における断線事故の経験では、大きく影響を受けるのは4～5径間程度であり、流れ止めを断線事故対策に使用していない。

流れ止めは、設備を増加すること、ランサー相互の働きを抑制することなど、定常時において不利な設備となる。

(3) ま と め

- a 流れ止め装置は曲線区間に取付ける。
- b 直線区間は必要により取付けられるような設備とする。

3.3.6 張力調整装置

(1) 架線引止区間長

本線	標準	1800 m	限度	2000 m
側線		1600 m	限度	1800 m

(2) 2条(M・T)一括方式の効用

吊架線、トロリー線夫々の張力調整は、ランサーによる吊架線、トロリー線間にアンバランスが生じた場合、架線特性を低下させる恐れがある。一方、2条一括は架線構造が殆んど崩れないため架線特性の保持と、M・T相互間の流れがないため架高を必要限度(最小ハンガーの確保、架高の統一、振止・曲線引金具の取付など)まで縮小できる。

(3) ランサーの適用

本線	a	2条一括	3000 kg方式	} 両方を採用する。
	b	吊架線	2000 kg	
		トロリー線	1000 kg方式	
側線		トロリー線	850 kg方式	

3.3.7 区分装置

(1) エアジョイント, エアーセクション

すべて4径間構成は不経済である。3径間構成が物理的(径間中央が引上がらない。)に可能であれば、高速運転にも十分対処できる。

(2) 自動切替セクション

詳細については2.2.14参照。

S Pの位置は、電車線設備側としては長区間のき電線の引回しと設備の繁雑さを解消するため切替セクション箇所を設置することが望ましい。

(3) ま と め

- a エアジョイント 3径間構成を標準とする。付2-10平行区間構造図(エアジョイント)による。
- b エアーセクション 3径間構成を標準とする。60m未満は2径間とする。付2-10

平行区間構造図（エアセクション）による。

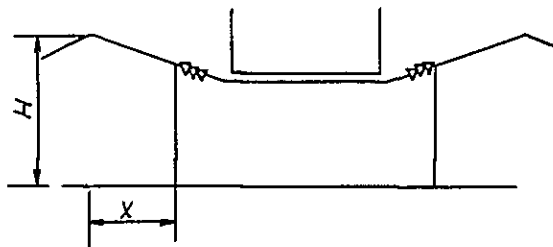
- c デットセクション S S, S P（自動切替セクションを除く。）箇所の区分
18 m方式
- d 構内区分 従来通り
- e 非常用セクション 駅構内区分用に駅の前後に非常用エアセクションを設ける。

3.3.8 豊台駅跨線橋下架線構造

豊台駅跨線道路橋は、北京—天津間において高さが最低で、RLより5800mmである。電化に対して要求に満たない他の跨線橋は、何らかの措置がとれるものと思われる。しかしこの跨線橋については盤下げ、線上げ改修工事共に種々制約事項が多く、土木側で手を加えることは全く不可能である。かつ大貨物を通す場合の処置として橋を絶縁隔離する、絶縁板で貨車を覆う、デットセクションを入れる等の案を考えたが、何れも問題が多く、議論を重ねた結果、付2-12豊台駅跨線橋下架線構造図の結論を得た。しかし、この図における未解決事項が2つある。

図面のX, Hの値が決定していないことである。

図3-6



Tro 高さ	5370
Tro 弛度	15
温度変化	33
Tro 太さ	12
施工誤差	20
離隔	300
余裕	50
<hr/>	
	5800

付2-12の構造図は右のような数値の組立によって出来たものである。

X, Hは跨線橋下の架線の引止位置によってランサーが働くか否かによって決定する。

即ち、ランサーが働く場合は、吊架線が多少移動できる構造とする。また、引止と引止の中央部にある場合は移動を考えない構造として橋に引上力を働かせる。この結果によってX, Hが決まる。特にXは、架線の押上げを考慮してなるべく大きな値を取ることが好ましい。

3.4 電車線の支持方式

3.4.1 駅 中 間

付2-2～付2-6の標準装柱図の通りである。

(1) 複線区間

従来通り

(2) 3線以上の区間

一部固定ビームを採用する。

固定ビームの利点

- a 可動ブラケット併用方式によってランサーが有効に働く。
- b 架線の調整が容易である。
- c 京津線以外の線を将来電化する場合、施工容易である。

固定ビームの欠点

- a 塗装が増加する。

(3) 丸形コンクリート柱

(a)荷重に方向性がないので計算が容易である、(b)固定ビームが取付け易いなどから一部採用することとした。また、基礎についても日本方式を同時に採用することとした。

(4) 高速運転対応策

電化後、速度向上する場合は、可動ビーム等各種ビームは、カント修正に対して大きな手戻のないよう考慮すべきである。

3.4.2 駅 構 内

付2-7～付2-9の標準装柱図の通りである。

固定ビーム方式を万庄、廊坊および落袋の各駅で採用することに決定した。スパン線ビームと固定ビームを表3-8で比較する。なお、スパン線の場合は事故の波及範囲は大きくなる。

表 3 - 8

	スパン線ビーム	固定ビーム
架線調整	難しい	容易
工事費		やゝ大と思われる。
塗装	少ない	多くなる(活線でやりにくい)
鉄柱巾	大	小
保守作業	容易	アースに近い部分やりにくい
ビーム長	8線(50m)に限定	60m以上できる。

3.5 き電線及び保護線

3.5.1 き電線

北京—天津間のATき電方式において、電流量からATき電線はHA ℓ 150 m^2 に決定したので標準張力を算出する。標準張力は年間の平均温度を基本にして算出する。これによると設計施工面で設備に対する判断が容易になる。また、き電線は活線作業を考慮して外側ルートとした。

(1) 諸元

ω_0 : 電線の自重	0.407 kg/m	t_0 : 気温最低	-20 $^{\circ}C$
A : 断面積	148 m^2	t : 気温標準	+10 $^{\circ}C$
d : 外径	15.8 mm	ω_w : 風速 25 m/sec の合成荷重	
α : 線膨張係数	2.3×10^{-5}	ω_i : 被氷 5 mm	
E : 弾性係数	$6.3 \times 10^9 kg/m^2$	風速 10 m/sec の合成荷重 (kg/m)	
抗張力(HA ℓ 150)	2220 kg	F : 安全率	
T_0 : 許容抗張力	1000 kg	T : 標準温度の時求める張力	kg
許容抗張力は 1000 kg に決めた。		S : 径間	

(2) 計算式

$$T^3 - \left\{ T_0 - \frac{AES^2 \omega_w^2}{24 T_0} - AE\alpha (t - t_0) \right\} T^2 - \frac{AE\omega_0^2 S^2}{24} = 0$$

但し、被氷の方が条件が悪ければ ω_w を ω_i (温度は $-5^{\circ}C$) とする。

$$\omega_w = 0.7559 kg/m$$

$$\omega_i = 0.7124 kg/m$$

(3) 計算結果

$$S = 65 m \quad T = 459 kg \quad S = 30 m \quad T = 389 kg$$

標準張力は余裕をみて 350 kg とする。

この標準張力から弛度張力曲線を求めたものが付 2 - 13 HA ℓ 150 m^2 弛度張力曲線である。

3.5.2 AT保護線(PW)

PWは変電所のトランス容量及び送電線の容量から事故時の故障電流及びしゃ断器の動作時間によって線種が決定される。

(1) 線種の決定

計算式
$$I = K \cdot \frac{A}{\sqrt{t}} A$$

I : 短時間電流容量 A
A : 電線の断面積 m^2

t : 通過時間 sec

K : 初期温度 40 °C時の定数

この計算式より ACSR 70 mm²

ACSR 50 mm² ACSR 35 mm² st70 mm²

st 60 mm² st 50 mm² を計算したものが HAL : 93.26 st : 49.0

付 2-15 保護線の短時間電流容量である。 ACSR : (93.26) cu : 152.0

この図より、変電所における故障電流は 4000 A ~ 5000 A であるから P の線種は ACSR 50 mm² に決定となる。

(2) 標準張力の決定

き電線と同様に計算した結果

$$S = 65 \text{ m} \quad T = 353 \text{ kg} \quad S = 30 \text{ m} \quad T = 336 \text{ kg}$$

標準張力は 300 kg とする。

この標準張力から弛度張力曲線を求めたものが付 2-14 ACSR 50 mm² 弛度張力曲線である。

3.5.3 き電線引出し設備構造

付 2-16 き電線引出設備構造は、新幹線方式をモデルにして、き電線の外側ルートを考慮した設備である。これは設備の集中によって保守点検が容易である。

3.6 強度計算

中国の電車線では、門型支持物の強度計算は初めてである。これは廊坊駅をモデルにして門型支持物の強度計算を実施した。付 2-17 廊坊駅門型支持物強度計算参照。

計算書の内容は次の通りである。

- (1) 装 柱
- (2) 設計条件
- (3) 鉄柱，固定ビームの形状及び部材寸法
- (4) 荷重表
- (5) モーメント計算（線路平行及び直角方向）
モーメント図及びせん断力図
- (6) 部材計算
- (7) 基礎計算

4 成果の要約

以上今回の電化技術交流によって得られた成果を要約するならば以下の如くである。

(1) 一般的事項

日中電化技術者間の相互理解を一層深め、信頼感が生じたことは特筆に値する。

(2) 技術的事項

(a) 電源供給

北京－天津間電化において、想定される受電点の三相短絡容量は 2000 MVA 以上あり、電化を行うには十分で、電圧不平衡、電圧変動、高調波等による電氣的公害はないことが予測できた。

(b) き電回路

北京－天津間電化において電源供給、負荷容量並びに地域的特殊事情からみて A T き電方式が最も適しており、これらを推奨することができた。

(c) 変電所

き電用変圧器の結線方式について理論的比較を行い、中国での従来方式（ $\lambda - \Delta$ ）より、スコット結線方式の方が勝れていることを確認、これを推奨することができた。

以上(a), (b), (c)項により、き電回路全体のロケーション（全体の構成）を一応まとめることができた。

(d) 電車線路

北京－天津間の高速運転に対する架線方式は、架線特性上「2 t 系の変 Y シンプル方式」の方が勝れていることを検討し、これを推奨することができた。

また、架線の支持方式については、従来の「スパン線ビーム」に替えて、一部において「固定ビーム」を採用することを奨めた。この目的は「スパン線ビーム」の架線調整の困難さの解決と、可動ブラケット方式の併用によるランサの有効活用のためである。

さらに、き電線、保護線等については標準温度、標準張力を設定して、設計施工面の基準設備を推奨することができた。

5 あとがき

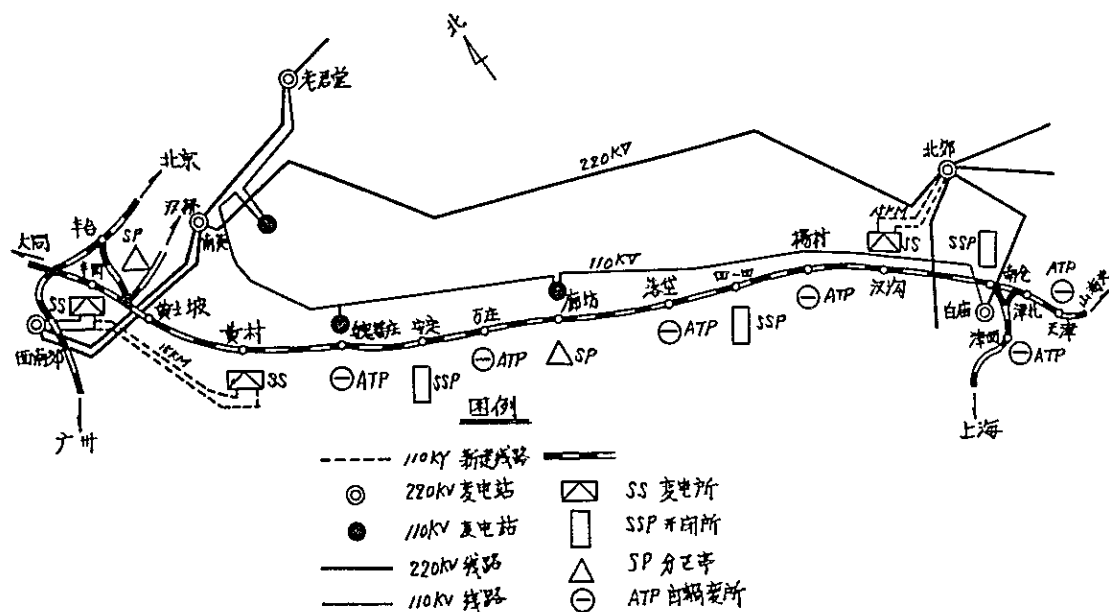
以上により、北京－天津間電化設備計画のうち、電力系統、電車線関係の初期的段階の討議結果をまとめることができた。本文がこれからの中国における電化の進展に少しでもお役に立てれば、筆者等の望外の喜びとするところである。

終りに、本報告作成に惜しみなく努力された中国鉄道部の方々に敬意を表すると共に、今後益々日中友好、技術交流が発展するように期待している次第である。

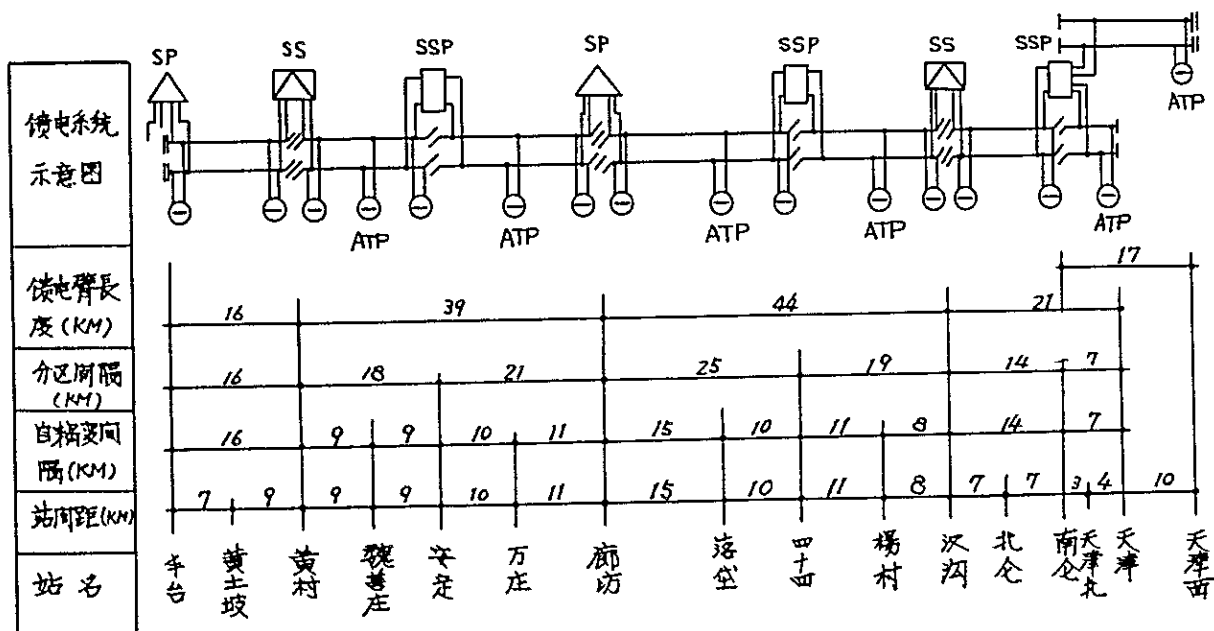
（以上本文）

付1 電源、き電回路及び変電所等の設備

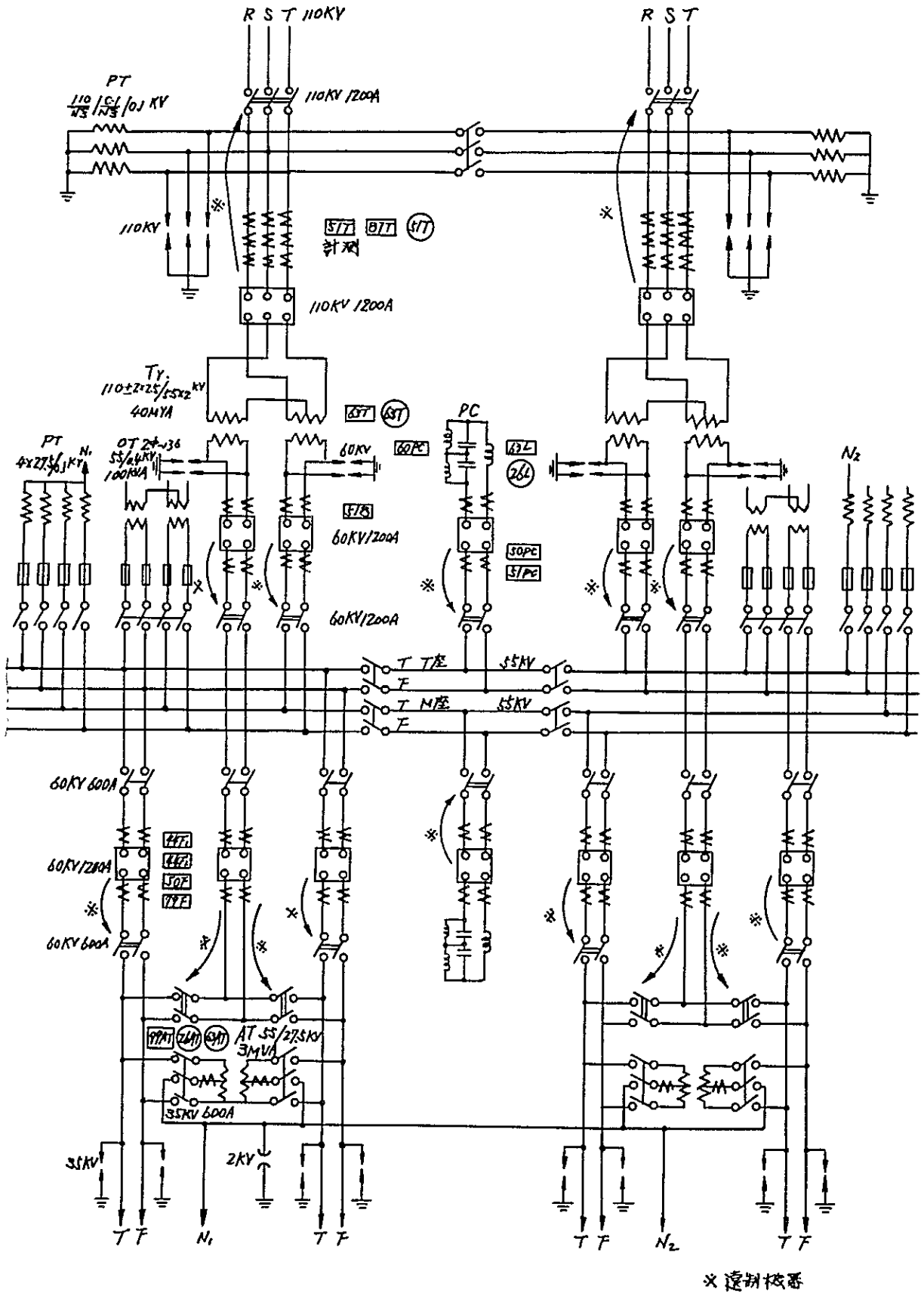
付1-1 京津線沿線の送電系統図



付1-2 京津線電化のき電系統図

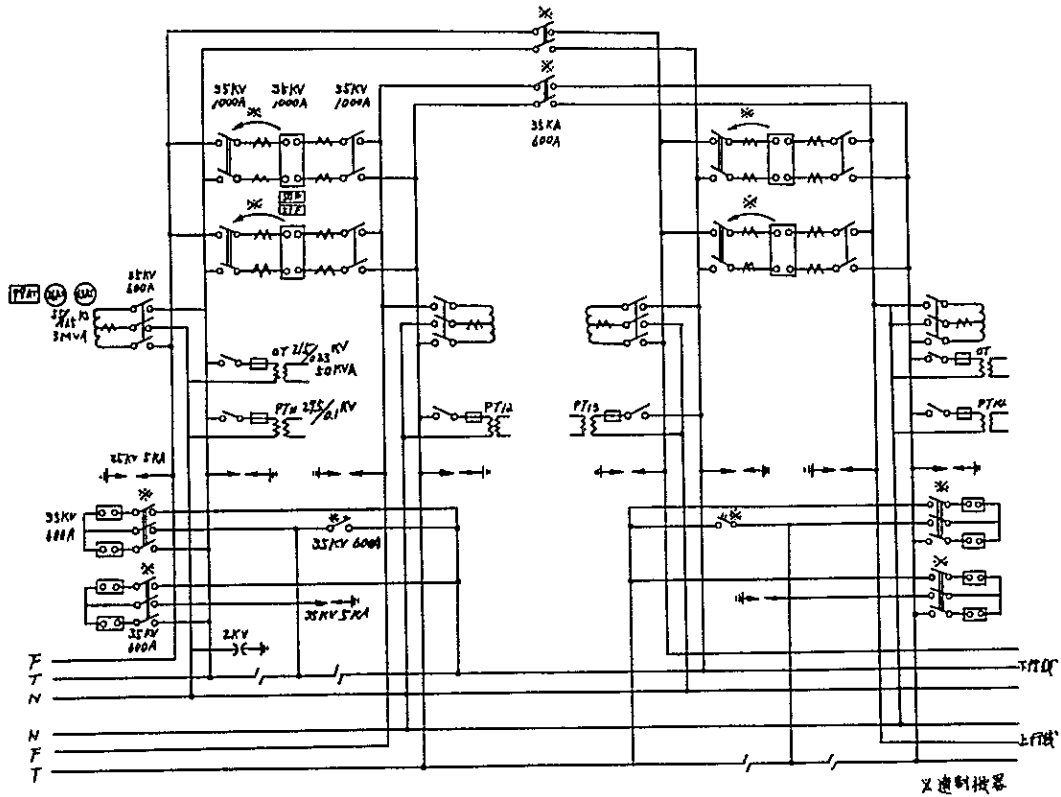


付 1 - 3 変電所の主要路結線図

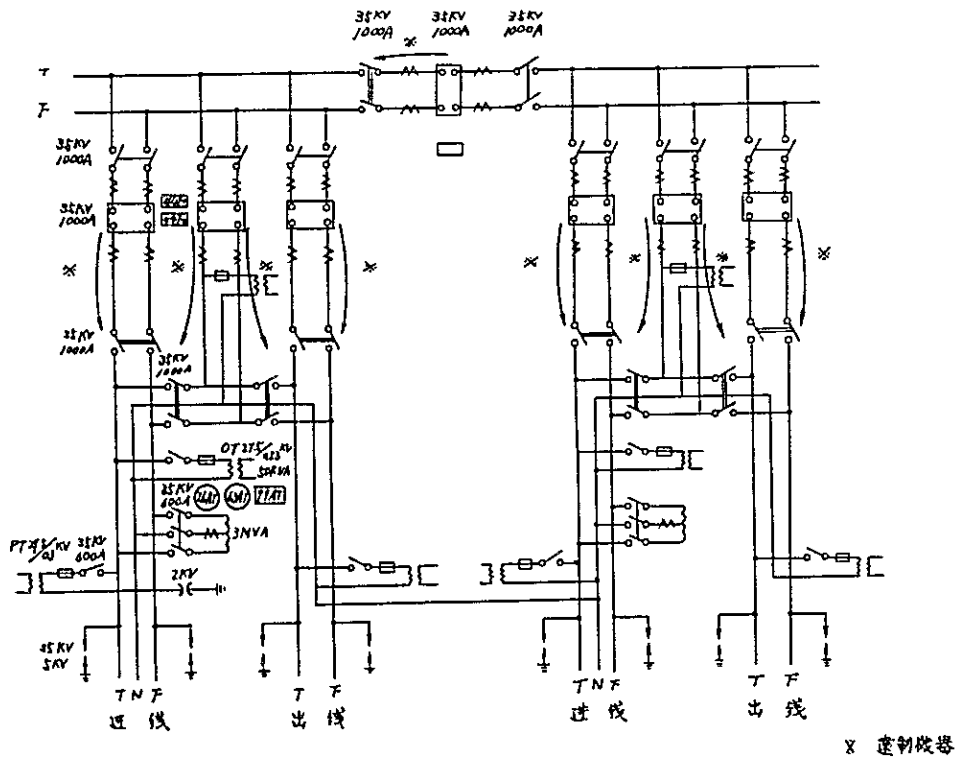


* 識別符号

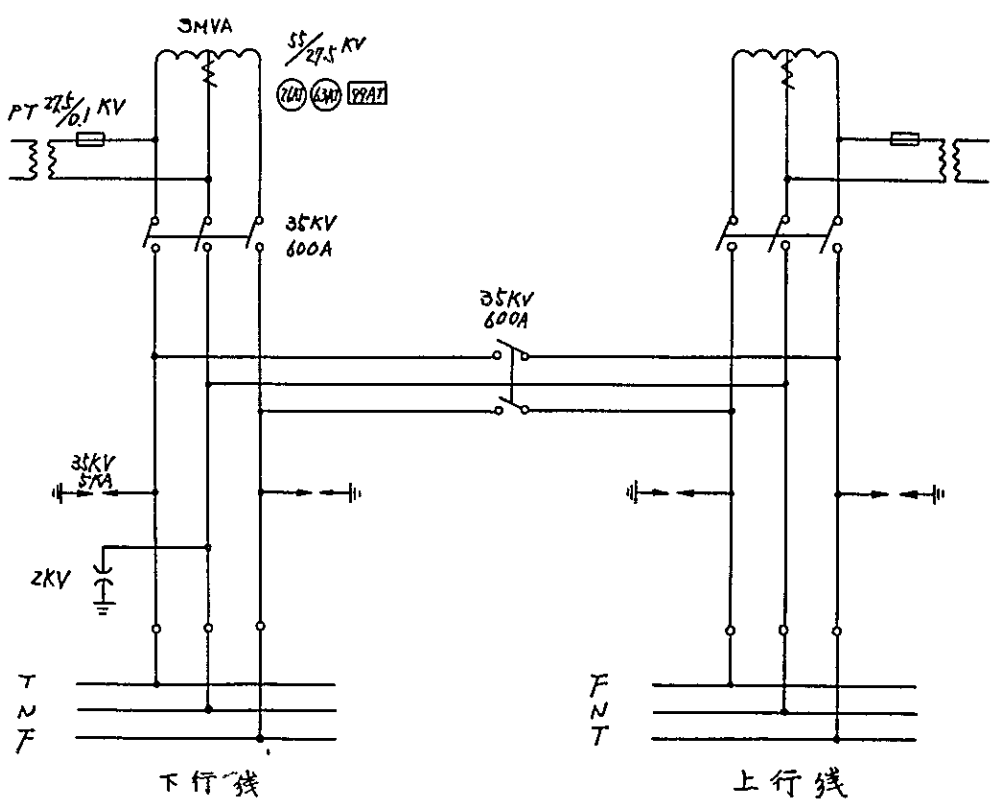
付 1 - 4 き電区分所の主回路結線図



付 1 - 5 き電開閉所の主回路結線図



付1-6 ATPの主回路結線図



付1-7 将来予想される京津線の運転ダイヤ

駅名	時間				発着時刻	
	1時	2時	3時	4時	上	下
丰台	[Cross-hatched]				14	16
黄村	[Cross-hatched]				14	16
安定	[Cross-hatched]				18	20
廊坊	[Cross-hatched]				22	23
四一四	[Cross-hatched]				7	7
双沟镇	[Cross-hatched]				13	12
南仓	[Cross-hatched]				8	7
天津	[Cross-hatched]					

付 1 - 8 き電回路定数計算法

1. 計算条件

1.1 接触区懸掛方式：简单線形懸掛

1.2 接触導線型号：TCG - 100

1.2.1 有効電阻 $r_T = 0.179 \Omega \text{ KM}$

1.2.2 計算半径 $R_T = \frac{A+B}{4} = \frac{12.81 + 10.8}{4} = 5.9 \text{ mm}$

1.2.3 当量半径 $R_{\Sigma T} = 0.78 R_T = 4.6 \text{ mm}$

1.3 承力索型号：GJ - 70

1.3.1 有効電阻： $r_M = 2.0 \Omega \text{ KM}$

1.3.2 計算半径： $R_M = 5.8 \text{ mm}$

1.3.3 当量半径： $R_{\Sigma M} = R_M \Sigma^{-\frac{1}{4} M}$

$$M = 25 - \frac{f}{2.8} = 25 - \frac{50}{2.8} = 7.14$$

$$\therefore R_{\Sigma M} = 5.8 \Sigma^{-\frac{7.14}{4}} = 5.8 \times 0.16 = 0.93 \text{ mm}$$

1.4 接触導線距軌頂高度 $h = 6000 \text{ mm}$

1.5 接触区結 高度 $k = 1300 \text{ mm}$

1.6 承力索弛度 $f_M = 500 \text{ mm}$

1.7 供電線型号：LJ - 185

1.7.1 有効電阻： $r_F = 0.162 \Omega \text{ KM}$

1.7.3 当量半径： $R_{\Sigma F} = 0.77 R_F = 5.9 \text{ mm}$

1.8 鋼軌型号：P 50

1.9 土洩大地導電率 α ：平均 $\alpha = 10^{-4} \frac{1}{\Omega \cdot \text{KM}}$

1.10 兩線路中心間距： $l = 4000 \text{ mm}$

2. 索引区各部間の平均間距計算

2.1 准軌距 $d_R = 1435 \text{ mm}$

2.2 接触 - 5 軌条の距離

$$d_{TR} = \sqrt{6000^2 + \frac{1435^2}{2}} = 6042.7 \text{ mm}$$

2.3 接触 - 5 承力索間の平均距離

$$\begin{aligned} d_{MT} &= k - \frac{2}{3} f_M \\ &= 1300 - \frac{2}{3} \times 500 \\ &= 967 \text{ mm} \end{aligned}$$

2.4 承力索—5 軌条的距離

$$d_{MR} = \sqrt{(6000 + 967)^2 + \left(\frac{1435}{2}\right)^2}$$

$$= 7004 \text{ mm}$$

2.5 地回路的 值深度

$$D_g = \frac{0.285 \times 10}{\sqrt{f \alpha \times 10^{-9}}} = \frac{0.2085 \times 10}{\sqrt{50 \times 10^{-4} \times 10^{-9}}} = 932 \times 10^3 \text{ mm}$$

2.6 軌条間的距離

$$R_{12} = 1435 \text{ mm} \quad R_{14} = 5435 \text{ mm}$$

$$R_{13} = 4000 \text{ mm} \quad R_{23} = 2565 \text{ mm}$$

$$R_{24} = 4000 \text{ mm} \quad R_{34} = 1435 \text{ mm}$$

3. 接觸導線～地回路自阻抗

$$Z_T = r_T + 0.05 + j0.145 \lg \frac{D_g}{R_{\Sigma T}}$$

$$= 0.179 + 0.05 + j0.145 \lg \frac{932 \times 10^3}{4.6}$$

$$= 0.229 + j0.769$$

$$= 0.802 \angle 73.4^\circ \quad (\Omega/\text{KM})$$

4. 承力索～地回路自阻抗

$$Z_M = r_M + 0.05 + j0.145 \lg \frac{D_g}{R_{IM}}$$

$$= 2.05 + j0.145 \lg \frac{932 \times 10^3}{0.93}$$

$$= 2.05 + j0.87$$

$$= 2.23 \angle 23^\circ \quad (\Omega/\text{KM})$$

5. 接觸 ～ 地回路—5 承力索～地回路互阻抗

$$Z_{MT} = 0.05 + j0.145 \lg \frac{D_g}{R_{MT}}$$

$$= 0.05 + j0.145 \lg \frac{932 \times 10^3}{967}$$

$$= 0.05 + j0.433$$

$$= 0.436 \angle 83.4^\circ \quad (\Omega/\text{KM})$$

6. 接觸區～地回路等值自阻抗

$$Z_A = Z_{MT} + \frac{(Z_T - Z_{MT})(Z_M - Z_{MT})}{Z_M + Z_T - 2Z_{MT}}$$

$$= 0.05 + j0.433 + \frac{(0.179 + j0.366)(2.0 + j0.437)}{2.179 + j0.733}$$

$$= 0.05 + j0.433 + \frac{0.78 \angle 74.3^\circ}{2.312 \angle 19.5^\circ}$$

$$= 0.05 + j0.433 + 0.337 \angle 54.8^\circ$$

$$\begin{aligned}
&= 0.05 + j 0.433 + 0.194 + j 0.275 \\
&= 0.244 + j 0.708 \\
&= 0.749 \angle 71^\circ \quad (\Omega/\text{KM})
\end{aligned}$$

7. 軌道～地回路自阻抗

$$\begin{aligned}
7.1 \quad \text{有効電阻} \quad \gamma_R &= \frac{1.5}{G} + (fG + 3.7 b) \times 10^{-4} \\
&= \frac{1.5}{50} + (50 \times 50 + 0) \times 10^{-4} \\
&= 0.28 \quad (\Omega/\text{KM})
\end{aligned}$$

7.2 鋼軌高 $h = 152 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
\text{等値半径} \quad R_{\Sigma R} &= 0.16 \times \frac{h}{2} \\
&= 0.16 \times 152 \\
&= 12.1 \text{ mm}
\end{aligned}$$

7.3 等値軌道の幾何平均半径

$$\begin{aligned}
R_{\Sigma} &= \sqrt[3]{R_{\Sigma R}^2 \cdot d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{14} \cdot d_{23} \cdot d_{24} \cdot d_{34}} \\
&= \sqrt[3]{146.41 \times 1435 \times 4000 \times 5435 \times 2565 \times 4000 \times 1435} \\
&= 713.6 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
7.4 \quad Z_B &= \frac{\gamma_R}{4} + 0.05 + j 0.145 \lg \frac{932 \times 10^3}{713.6} \\
&= 0.12 + j 0.45 \\
&= 0.466 \angle 75.1^\circ \quad (\Omega/\text{KM})
\end{aligned}$$

8. 供電線～地回路自阻抗

$$\begin{aligned}
Z_F &= \gamma_F + 0.05 + j 0.145 \lg \frac{Dg}{R_{\Sigma F}} \\
&= 0.162 + 0.05 + j 0.145 \lg \frac{932 \times 10^3}{5.9} \\
&= 0.212 + j 0.754 \\
&= 0.78 \angle 74.3^\circ \quad (\Omega/\text{KM})
\end{aligned}$$

9. 一条線路接触窓～地回路軌道～地回路間互阻抗

9.1 接触窓～軌道間の幾何均距

$$\begin{aligned}
d_{\text{TMR}} &= \sqrt[3]{d_{T_1} \cdot d_{T_2} \cdot d_{T_3} \cdot d_{T_4} \cdot d_{M_1} \cdot d_{M_2} \cdot d_{M_3} \cdot d_{M_4}} \\
&= \sqrt[3]{(6043)^2 \times (6839 \times 7632 \times (12987)^2 \times 13376 \times 13798)} \\
&= 9368 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
9.2 \quad Z_{\text{TR}} &= 0.05 + j 0.145 \lg \frac{932 \times 10^3}{9638} \\
&= 0.05 + j 0.29 \quad (\Omega/\text{KM})
\end{aligned}$$

10. 供電線和軌道互阻抗

10.1 供電線和軌條的平均距離

$$\begin{aligned}d_{FR} &= \sqrt[4]{d_{F1} d_{F2} d_{F3} d_{F4}} \\ &= \sqrt[4]{7461 \times 8212 \times 9936 \times 11044} \\ &= 9055 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}10.2 \quad Z_{FR} &= 0.05 + j0.145 \lg \frac{932 \times 10^3}{9055} \\ &= 0.05 + j0.29 \\ &= 0.294 \angle 80.2^\circ (\Omega/\text{KM})\end{aligned}$$

11. 供電線～接觸區互阻抗

11.1 供電～接觸區間平均距離

$$\begin{aligned}d_{TF} &= \sqrt[2]{d_{FT} \cdot d_{FM}} \\ &= \sqrt[2]{4151 \times 4112} \\ &= 4132 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}11.2 \quad Z_{TF} &= 0.05 + j0.145 \lg \frac{932 \times 10^3}{4132} \\ &= 0.05 + j0.34 \\ &= 0.344 \angle 81.6^\circ (\Omega/\text{KM})\end{aligned}$$

12. 等值回路参数

$$Z_A = 0.244 + j0.708 (\Omega/\text{KM})$$

$$Z_B = 0.12 + j0.45 (\Omega/\text{KM})$$

$$\begin{aligned}Z_C &= \frac{Z_A + Z_F + 2 Z_{TF}}{4} \\ &= \frac{0.12 + j0.754 + 0.244 + j0.708 + 0.1 + j0.68}{4}\end{aligned}$$

$$= 0.139 + j0.54 (\Omega/\text{KM})$$

$$Z_{AB} = 0.05 + j0.29 (\Omega/\text{KM})$$

$$\begin{aligned}Z_{BC} &= \frac{(Z_{FR} + Z_{TR})}{2} \\ &= \frac{0.05 + j0.29 + 0.05 + j0.29}{2}\end{aligned}$$

$$= 0.05 + j0.29 (\Omega/\text{KM})$$

$$\begin{aligned}Z_{CA} &= \frac{Z_A + Z_{TF}}{2} \\ &= \frac{0.244 + j0.708 + 0.05 + j0.34}{2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0.147 + j0.524 \quad (\Omega/\text{KM}) \\
Z_1 &= Z_A + Z_{CB} - Z_{AB} - Z_{AC} \\
&= 0.097 + j0.184 \quad (\Omega/\text{KM}) \\
Z_2 &= Z_B + Z_{AC} - Z_{AB} - Z_{BC} \\
&= 0.167 + j0.394 \quad (\Omega/\text{KM}) \\
Z_3 &= Z_C + Z_{AB} - Z_{BC} - Z_{AC} \\
&= -0.008 + j0.016 \quad (\Omega/\text{KM})
\end{aligned}$$

13. 索引図等値抵抗

$$\begin{aligned}
Z_L &= Z_1 + \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} \\
&= 0.097 + j0.184 + \frac{0.43 \angle 67^\circ \times 0.0179 \angle 116.6^\circ}{0.167 + j0.394 + j0.016 - 0.008} \\
&= 0.097 + j0.184 + 0.0175 \angle 114.8^\circ \\
&= 0.09 + j0.2 \quad (\Omega/\text{KM}) \\
Z'_L &= \frac{Z_2^2}{Z_2 + Z_3} \\
&= \frac{(0.43 \angle 67^\circ)^2}{0.44 \angle 68.8^\circ} \\
&= 0.176 + j0.38 \quad (\Omega/\text{KM})
\end{aligned}$$

設 $\cos \theta = 0.8$

等値抵抗

$$\begin{aligned}
Z_L &= 0.09 \times 0.8 + 0.2 \times 0.6 = 0.192 \quad (\Omega/\text{KM}) \\
Z'_L &= 0.176 \times 0.8 + 0.38 \times 0.6 = 0.369 \quad (\Omega/\text{KM})
\end{aligned}$$

14. 回路阻抗参数如下表

表 き電回路定数

項	目	き電回路のインピーダンス (Ω/KM)	
接触 図 自 阻 抗	Z_T	0.244 + j0.708	0.749 L 71°
トロリの大地帰路 インピーダンス			
供 電 線 自 阻 抗	Z_F	0.212 + j0.754	0.78 L 74.3°
フィーダの大地回路 インピーダンス			
接触 図 供 電 線 互 阻 抗	Z_{FT}	0.05 + j0.34	0.344 L 81.6°
トロリとフィーダの 相互インピーダンス			
接触 図 供 電 線 回 路 阻 抗	$Z_T + Z_F$	0.356 + j0.682	0.769 L 62.4°
トロリとフィーダの 短絡インピーダンス	$-2Z_{TF}$		

付 1-9 き電回路 電圧降下の計算

電圧降下計算

以 没 変 電 所 例

漢溝～廊坊間逆行時分及列車平均電流如下表

	力行時分 (分)	惰行時分 (分)	総運行時分 (分)	列車電流 (A)
下行	20.9	18.6	39.5	160
上行	27.3	10.7	38.0	150

列車通過漢溝～廊坊 電区段 (43 KM) 需要時分

$$t_{下} = \frac{43 \text{ Km}}{67.8 \text{ Km/H}} \times 60 = 38 \text{ 分} \quad (\text{下行})$$

← 技術速度

$$t_{上} = \frac{43}{64.4} \times 60 = 40 \text{ 分} \quad (\text{上行})$$

電区段内最大列車数

$$n_{下} = \frac{38}{7} + 1 = 6.4 \text{ 列} \quad (\text{下行})$$

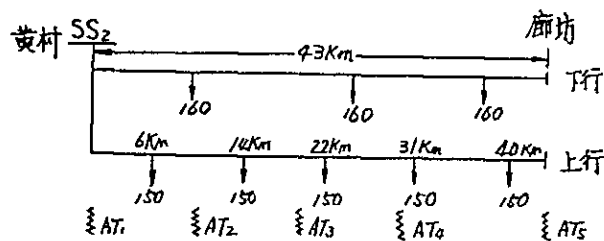
$$n_{上} = \frac{40}{7} + 1 = 6.7 \text{ 列} \quad (\text{上行})$$

電区段内力行運行列車数

$$n_{下} = n_{下} \times \frac{\overset{\text{力行時分}}{20.9}}{\underset{\text{総運行時分}}{39.5}} = 3.39 \text{ 列} \quad (\text{下行})$$

$$n_{上} = n_{上} \times \frac{27.3}{38} = 4.8 \text{ 列} \quad (\text{上行})$$

電圧降下計算図



接触図内最大電圧損失 ΔV_T 計算

$$\Delta V_T = 2L \sum I_j i + Z'_L \sum \left(1 - \frac{X_j}{D_j}\right) \times j_1 j$$

$$Z_L = 0.192 \text{ V/A} \cdot \text{Km}$$

$$Z'_L = 0.369 \text{ V/A} \cdot \text{Km}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_T &= 0.192 \times (6 + 14 + 22 + 31 + 40) \times 150 + 0.369 \times 150 \\ &\quad \times (0.4 \times 6 + 0.6 \times 4 + 0.8 \times 2 + 0.9 \times 1 + 0.23 \times 3) \\ &= 4040 \quad (\text{V}) \end{aligned}$$

主変圧器電圧損失 ΔV_{Tr} 計算

主変圧器片座容量 20 MVA

$$Z_{Tr} = \frac{27.5^2 \times 10.5}{20 \times 100} = 3.97 \quad (\Omega)$$

$$z'_{Tr} = Z_{Tr} \sin = 3.97 \times 0.6 = 2.28 \quad (\Omega)$$

$$\Delta V_{Tr} = 2.28 \times (150 \times 5 + 160 \times 3) = 2927 \quad (\text{V})$$

総電圧損失

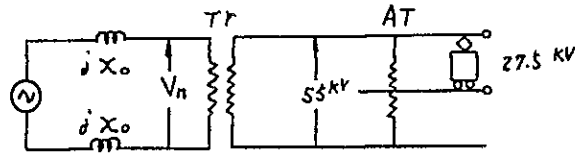
$$\Delta V = \Delta V_T + \Delta V_{Tr} = 4040 + 2927 = 6967 \quad (\text{V})$$

考慮変電所空載電圧 28.5 KV, 則機車受電弓

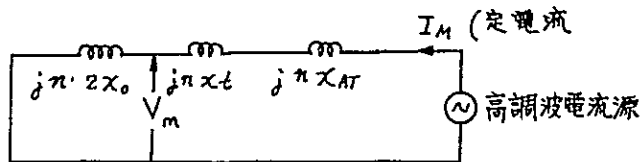
最低工作電圧在 21.5 KV 以上。

付 1 - 10

受電点における高調波電圧含有率の計算例



(1) 実回路



(2) 高調波電流回路

インピーダンスは全て 27.5 KV 系を Base とする。

電源短絡容量を 2000 MVA とすると基本波インピーダンス $2 \times$ 。

$$\text{は } \frac{2 \cdot E^2}{P_S} = 2 \frac{27.5^2 \times 10^6}{2000 \times 10^6} = 0.756 \Omega \quad \text{となる。}$$

従って各次高調波インピーダンスは, $n \times 0.756 \Omega$ として表現される。また, 高調波含有率は 1 列車当り $I_1 = 250 \text{ A}$ に対して $2/n^2$ と仮定し, I_1 は各列車電流の和とし, 高調波電流は各次数毎に乗平均をとった。

次に各次数の電流, インピーダンスを掛算して各次数の高調波電圧 ($V_3, V_5, V_7 \dots$) を各個に算出する。

総合的な歪電圧 V_n は

$$V_n = \sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + \dots}$$

となり, 電源部での電圧歪率は次式により算出する。

$$K = \frac{V_n}{V_1} \times 100 \% \quad (V_1 = 27.5 \text{ KV})$$

表 受電点における高調波電圧含有率

次数	$j_n \cdot 2x_0$	I_n	V_n	V_n^2	$\sqrt{\sum V_n^2}$	$\frac{\sqrt{\sum V_n^2}}{V_1} \times 100$
	(Ω)	A	(V)		(V)	(%)
1	0.756	750			} 286.5	1.05
3	2.27	95	216	46656		
5	3.78	35	132	17424		
7	5.29	18	95	9025		
9	6.81	11	75	5610		
11	8.32	7	58	3364		

上表の計算条件は下記のとおりである。

- (1) 1列車の基本波電流は250 Aとし、3列車合計は750 A。
- (2) 1列車の高調波電流は $I_1 \times \frac{2}{n^2}$ とし、3列車分の合成電流は2乗平均値とする。

$$I_n = \sqrt{\left(I_1 \times \frac{2}{n^2} \right)^2 \times 3} \quad (\text{Amp})$$

- (3) 三相短絡容量は2000 MVAとする。

付1-11 北京—天津間電力消費量計算

計算条件	列車重量	4,000 T
	機車類型	韶山-3 4,800 KW
	列車最高速度	75 Km/H

北京～天津間列車電力消費量統計表

区間名	区間距離	上行			下行		
		t_g 分	t_0 分	A KVAH	t_g 分	t_0 分	A KVAH
豊台～黄土坡	7.11	2.4	7.2	153	7.3	8.8	563
黄土坡～黄村	9.1	7.5	7.5	467	2.6	8.2	189
黄村～魏善庄	9.1	7.2	7.2	438	3.9	8.0	208
魏善庄～安定	8.72	7.1	7.1	432	2.9	7.9	209
安定～万庄	10.49	7.9	8.6	483	4.1	9.6	299
万庄～廊房	10.85	7.4	9.1	470	4.5	9.9	325

区 間 名	区 間 距 離	上 行			下 行		
		t _g 分	t ₀ 分	A KVAH	t _g 分	t ₀ 分	A KVAH
廊 坊～落 垓	15.0	9.7	12.6	606	6.2	13.7	449
落 垓～四一四	10.26	7.0	8.9	468	5.8	9.1	402
四一四～楊 村	10.92	5.5	9.7	372	5.0	9.9	355
楊 村～漢 溝	7.56	5.1	6.8	344	3.9	6.8	271
漢 溝～北 倉	7.34	4.8	6.7	335	3.7	6.5	255
北 倉～南 倉	6.34	2.9	5.8	210	3.4	5.6	231
南 倉～天津北	3.46	2.4	3.1	163	1.7	3.0	113
天津北～天 津	4.26	6.1	6.1	478	1.6	5.0	114
總 計	120.5	83	106.4	5,419	55.6	112	3,983

※ t_g - 列車力行時分, t₀ - 総運行時分, A - 電力消費量

単位消費量 a の計算

$$a = \frac{A}{(P+Q)L} \times 10^3 \quad (\text{KVA} \cdot \text{H} / \text{KT} \cdot \text{Km})$$

	上 行	下 行	上下行平均
a	10.88	8.0	9.44

項 目		計 算 者	
		中 国	日 本 [※]
運 轉 条 件	列 車 重 量 (t)	4000	4000
	機 関 車 形 式	韶山 3号	韶山 3号
	列車最高速度 (KM/H)	75	90
	負 荷 力 率	0.9	0.9
上下平均 電力消費率 (KVA / 1000 t · Km)		9.44	9.59

※ 日本の車両専門家が日本の電子計算機で計算

付 1 - 12 電化技術講座予稿（目次集）

	頁
1. シーケンス制御（Ⅱ-Ⅷ）	（ 1 ～ 18 ）
2. 交流区間における上下タイキ電方式について	（ 21 ～ 23 ）
3. 超高圧系における積算電力計の計量誤差について	（ 24 ～ 25 ）
4. 変電所保護継電器系の回路チェック法	（ 26 ～ 27 ）
5. わが国初の 30 KV き電用回軸ケーブルの実用化試験	（ 28 ～ 30 ）
6. 交流き電回路用距離リレーの改良について	（ 31 ～ 33 ）
7. 新幹線 AT き電回路における特異な現象	（ 34 ～ 36 ）
8. 山陽新幹線き電回路における人工故障試験	（ 37 ～ 38 ）
9. リレー端子を外さないでできる極性試験器「ポーラチェッカー」	（ 39 ～ 40 ）
10. 新幹線電車基地へのき電方式	（ 40 ～ 42 ）
11. コンクリート柱の閃絡試験（Ⅰ，Ⅱ）	（ 43 ～ 47 ）
12. 変圧器励磁突流による 64 P ₂ の不要動作	（ 47 ～ 48 ）
13. き電系統の保護について（Ⅵ～Ⅺ）	（ 48 ～ 63 ）
14. 重架線化によるき電回路特性の変化	（ 64 ～ 66 ）
15. 高調波抑制形交流△Ⅰについて	（ 67 ）
16. 交直セクションの長さ決定のルーツと現状	（ 68 ～ 69 ）
17. 新幹線における AT 故障時の系統運用法	（ 70 ～ 72 ）
18. 50 HZ 新幹線き電回路の定数とその適用法	（ 73 ～ 74 ）
19. 電化設備の経済的構成と運用に関する一考察	（ 75 ～ 77 ）
20. 万能形の 87 T 継電器の回路試験法	（ 78 ～ 79 ）
21. 交流き電回路における異常現象	（ 80 ～ 82 ）
22. 新幹線用 87 T の不要動作について	（ 82 ）
23. わかり易い新幹線用変電所の保護システム	（ 82 ～ 86 ） （ 87 ～ 91 ）
24. 交流き電回路の保護システムの変遷	（ 87 ）
25. 電気運転設備の計画について	（ 88 ～ 104 ）
26. 交流き電回路保護継電器の各種試験法	（ 105 ～ 108 ）
27. 最近の電力用コンデンサについて	（ 109 ～ 119 ）
28. 東北・上越新幹線変電所集中制御システム	（ 119 ～ 121 ）
29. 「相隣運動」について	（ 122 ～ 123 ）
30. AT 間隔を決定する要素の考察	（ 124 ～ 131 ）
31. 大地導電率（ α ）の単位系の換算法	（ 132 ～ 133 ）

32. サイクリック方式(変電所遠制方式)	(134 ~ 144)
33. 変電所・き電区分所等の結線図	(145 ~ 150)
34. き電回路インピーダンスの計算法	(151 ~ 163)

付1-13 中国鉄道部よりの質問事項と解答(目次集)

I き電計算の部	頁
1. ATき電方式のき電回路インピーダンス計算方法	(0 ~ 4)
2. ATき電方式, 主変圧器容量, AT容量及び主変圧器と電車線の電圧降下計算方法	(0 ~ 4)
3. 並列, 直列コンテナ装置の容量とリアクトル, コンデンサのパラメータ計算, フィルタの原則, 若し第3, 5, 7高調波をフィルタする必要がある場合, 装置の設計方法	(0 ~ 4)
4. 誘導妨害計算をするときの電流値のとり方について, 複線区間の場合の計算方法	(0 ~ 4)
5. 電氣的に考えた場合, PWはどのような場合二重絶縁を採用するか	(0 ~ 5)
6. き電区分所, 補助き電区分所, 開閉所, ATPはどのような条件で設置するか 正常時と事故時のトロリー線等き電システムは如何に運用するか	(0 ~ 5)
7. 変圧器の形式, 種類の選択方法	(0 ~ 5)
8. 交流電力牽引運転時における高調波の計算 予防装置(防止装置)と許容標準	(0 ~ 5)
9. 交流電気運転負荷で, き電システムにおいて引き起される不平衡電流, 電圧の計算, 不平衡電圧の許容値	(0 ~ 5)
II 変電所の部	
1. 変電所, 区分所, 補助き電区分所, ATPの結線図	(0 ~ 11)
2. 正常, 故障, 保守時におけるき電システムの使用, 操作, 停電情況の紹介	(0 ~ 11)
3. 主結線の設計原則と技術基準	(0 ~ 11)
4. 各種結線の技術的, 経済的比較	(0 ~ 11)
5. 高圧電気設備の選択 日本各メーカーの遮断器, 断路器, アレスタ, PT, CTの技術性能及び優劣についての紹介	(0 ~ 12)

- 6. 電気設備の機械的，電氣的寿命の原則 (0 ~ 12)
- 7. 変電所・区分所，補助き電区分所等の接地装置の設計 (0 ~ 13)
- 8. 放電器の技術条件と選択原則，放電器の原理，保守上の要求 (0 ~ 14)
- 9. き電回路の保護原理と結線 (0 ~ 15)
(a) 44，50 F (b) 保護の計算 (c) 不要動作対象
- 10. スコット，変形ウッドブリッジ結線変圧器の保護原理と結線 (0 ~ 15)
- 11. A T き電回路用故障点標定方式 (0 ~ 16)
- 12. 並列コンデンサ装置の製品性能紹介及び保護原理と結線の紹介 (0 ~ 16)
- 13. 電車線用切替セクションについて (0 ~ 17)
- 14. H形，W形遠制装置の原理と製品性能，技術的，経済的比較，伝送
チャンネル装置，製品紹介 (0 ~ 17)
- 15. 絶縁協調についての考え方 (0 ~ 18)
(以 上) (0 ~ 20)

付 1 - 14 電化技術討議に用いた文献

図 書・文献名	備	考	
1. 現場に必要な電力の知識	渡辺寛	電化協会	73 P
2. 重架線に関する電力特性	渡辺寛他	鉄研速報	66 P
3. 交流き電回路に関する研究	渡辺寛	鉄研報告	186 P
4. レール電位とその抑制対策	渡辺寛他	鉄研報告	107 P
5. 直接き電方式における電力特性	渡辺寛他	鉄研報告	237 P
6. A T 吸上電流比式故障点標定システム	藤江宏史	鉄研報告	78 P
7. 中性点直接接地系の中性点電流	渡辺寛他	鉄研速報	40 P
8. 狭小トンネルの絶縁隔離	新井浩一他	鉄研速報	13 P
9. 在来線の電圧不平衡	井上一	鉄研速報	58 P
10. 新幹線変電所竣工試験法	渡辺寛	鉄研速報	(50 P)
11. 講座・遠方制御装置	電化協会		95 P
12. 電気設備の技術基準	文一総合出版		944 P
13. 強度計算の部	電化協会		(100 P)
14. 配電・き電の部	電化協会		(120 P)
15. 電車線路の話題	電化協会		(120 P)
16. 新幹線変電設計施行標準(案)			145 P

	図 書・文献名	備 考
17.	電力概論 (変電)	電化協会 344 P
18.	電力概論 (電車線)	電化協会 195 P
19.	スコット結線変圧器の理論式	鉄研電力研究室 25 P
20.	電気鉄道要覧	電化協会 1233 P
21.	電気工学ハンドブック	電化協会 2126 P

付 3 電化技術講座・討議・報告作成者名簿

付 3 - 1 電化技術講座参加者名簿

表 1

専 業	姓 名	職 務	工 作 単 位
供 変 電	王泳焜	副総工程師	電化工程局
	王郁權	副処長	電化工程局設計処
	李定邦	主任工程師	電化工程局設計処
	李清超	工程師	電化工程局設計処
	楊 白	工程師	電化工程局設計処
	陸九如	工程師	電化工程局設計処
	范守忠	工程師	電化工程局設計処
	劉起律	工程師	電化工程局設計処
	梁志忠	工程師	電化工程局設計処
	黃子洞	工程師	電化工程局設計処
	董世民	工程師	太原鐵路局機務処
	陳大富	工程師	電化工程局施工処
	鄭國藩	工程師	電化工程局技術処
	趙鳴九	工程師	第三設計院
	劉治國	工程師	第三設計院
	郝元倉	技術員	北京鐵路局
	常敏森	助理研究員	鐵道科學院電氣化研究室
	何四本	助理研究員	鐵道科學院電氣化研究室
	勞日龍	工程師	成都鐵路局
	孫利石	翻 訳	鐵道部外事局

小 計 20名

專業	姓名	職務	工作單位
電 車 線	周斯燦	主任工程師	
	王燦然	主任工程師	
	張際勳	工程師	
	王濟立	工程師	
	陳德悠	工程師	
	陳國強	工程師	
	許仲仁	工程師	
	謝燕庭	翻譯	
	白山	室主任	
	蔣文淵	理助研究員	
	韓博軒	理助研究員	
	李兆義	工程師	
	陳達友	技術室主任	
	崔明祥	技術員	
	趙秀蓮	技術員	
	連順生	技術員	
	蘇志鈞	工程師	
	謝京西	翻譯	
	楊淑芳	翻譯	
			小計 19名

付 3 - 2 電化技術討議參加者名簿

表 2

專業	姓名	職務	工作單位
供 變 電	王泳焜	副總工程師	電化工程局
	李定邦	主任工程師	電化工程局設計處
	繆耀珊	主任工程師	電化工程局設計處
	李清超	工程師	電化工程局設計處
	梁志忠	工程師	電化工程局設計處
	劉起律	工程師	電化工程局設計處
	朱世悌	工程師	電化工程局設計處

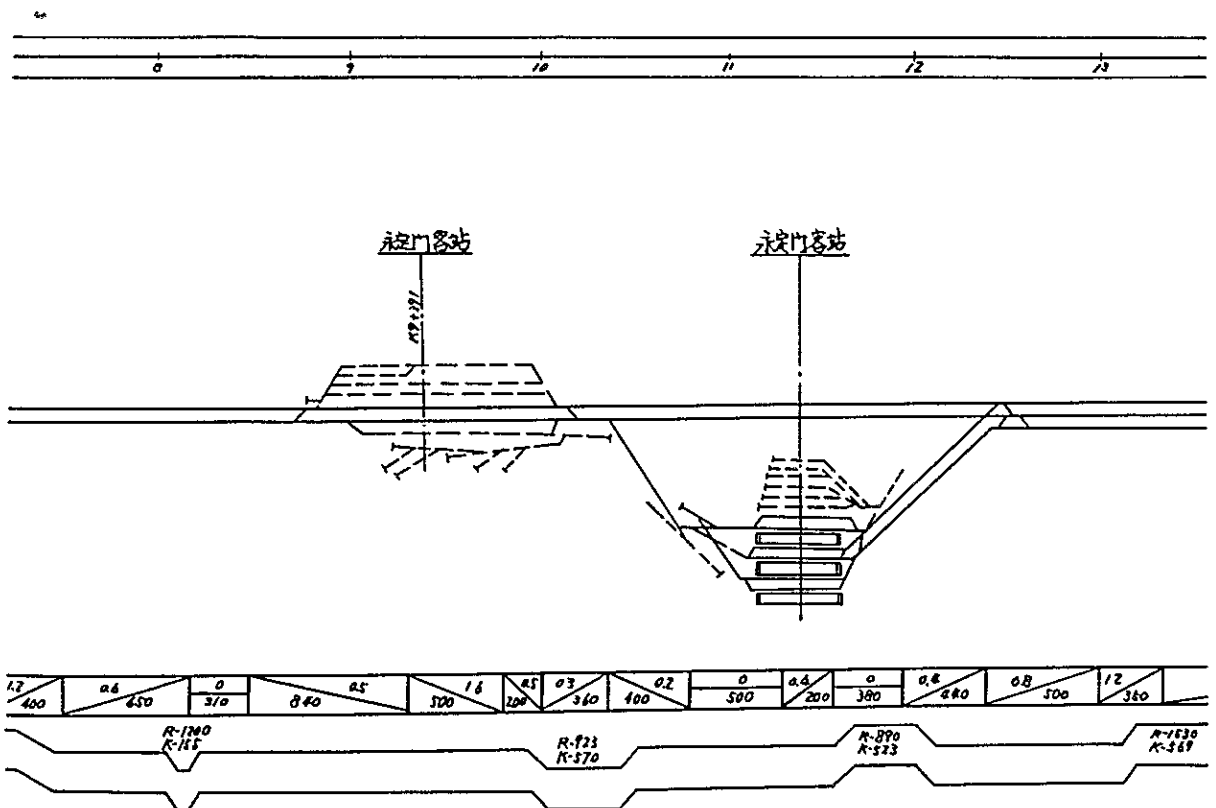
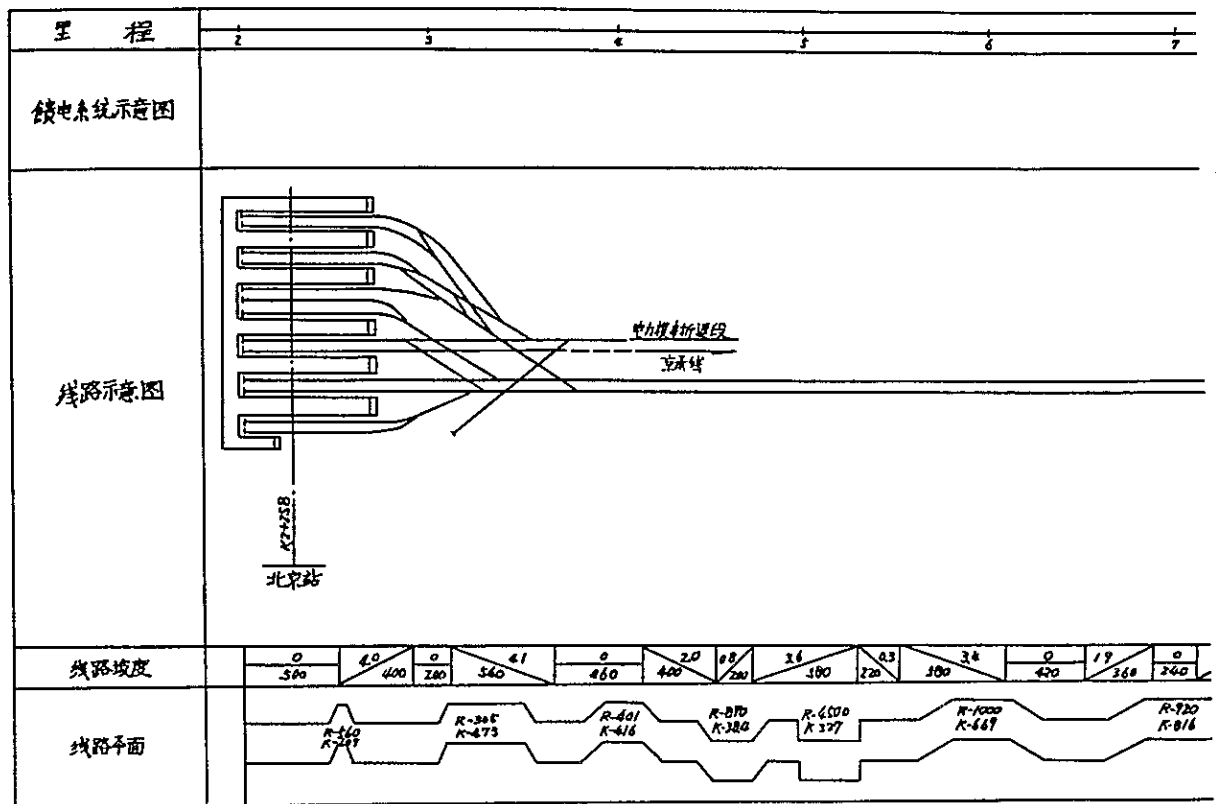
專業	姓名	職務	工作單位
供 變 電	張淑英	工程師	電化工程局設計處
	張健芳	工程師	電化工程局設計處
	周國東	工程師	電化工程局設計處
	常敏森	助理研究員	鐵道科學院電氣化研究室
	何四木	助理研究員	鐵道科學院電氣化研究室
	趙鳴九	工程師	第三設計院
	郝元倉	技術員	北京鐵路局
	勞日龍	工程師	成都鐵路局
	鄭國藩	工程師	電化工程局技術處
	謝京西	翻譯	鐵道部外事局
			小計 17名
電 車 線	王燦然	主任工程師	電化工程局設計處
	張際助	工程師	電化工程局設計處
	王濟立	工程師	電化工程局設計處
	單啟發	工程師	電化工程局設計處
	王明朗	工程師	電化工程局設計處
	陳德悠	工程師	電化工程局施行處
	殷光晨	副處長	北京鐵路局
	韓博怀	助理研究員	鐵道科學院電氣化研究室
	楊淑芳	翻譯	鐵道部外事局
			小計 9名

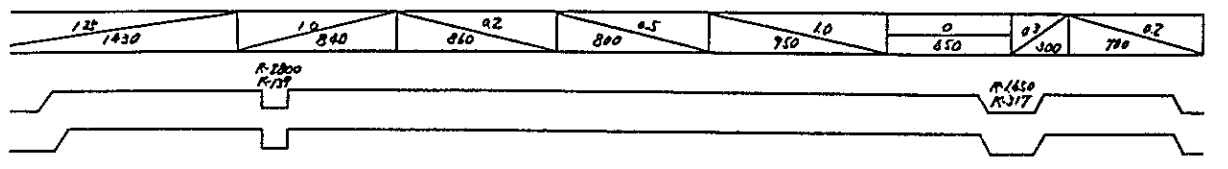
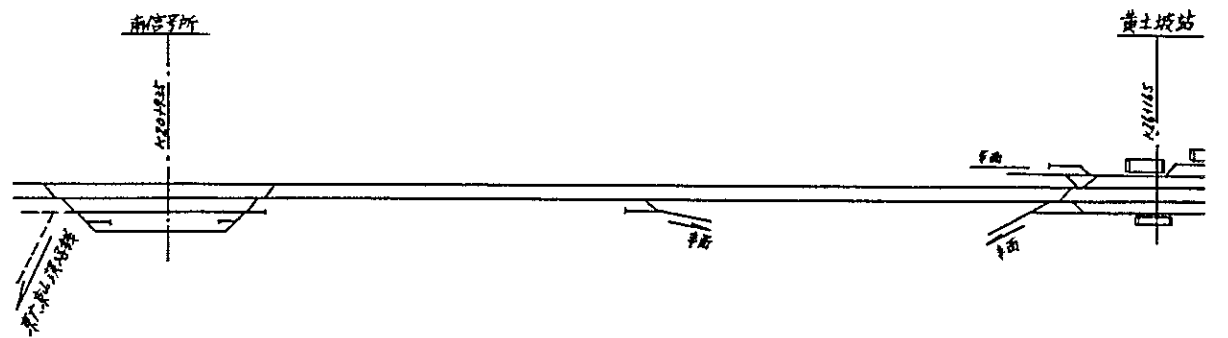
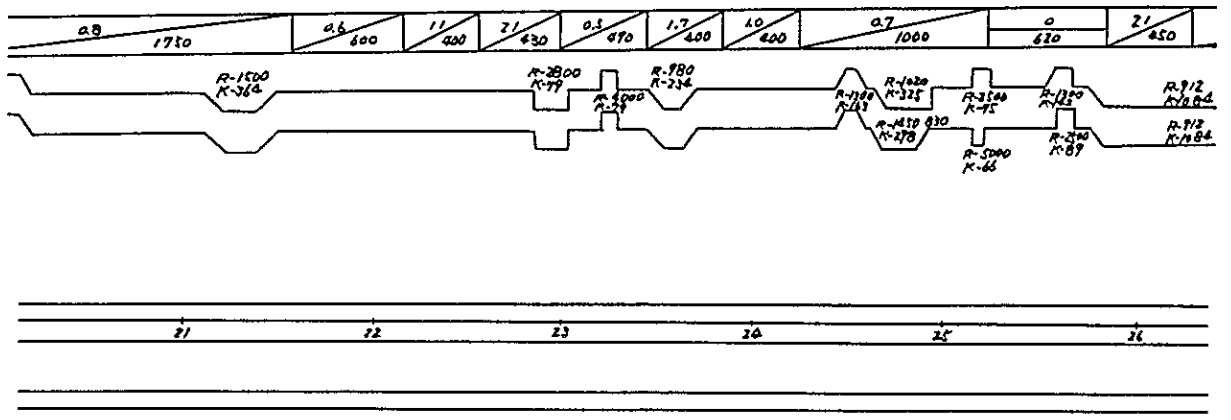
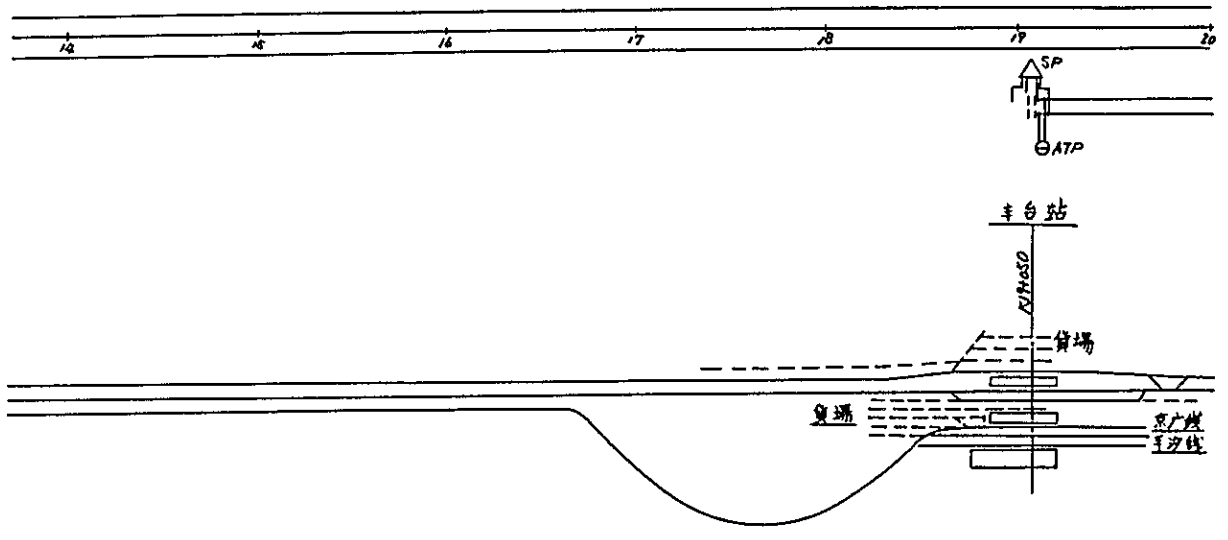
付3-3 報告作成中国側参加者名簿

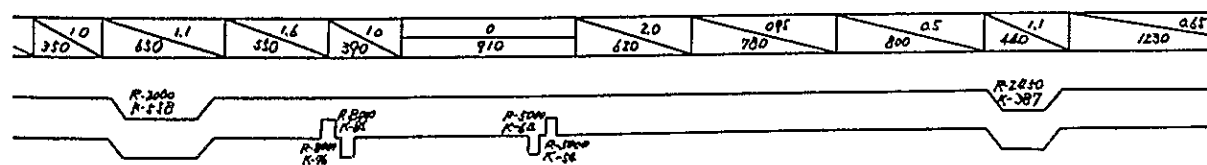
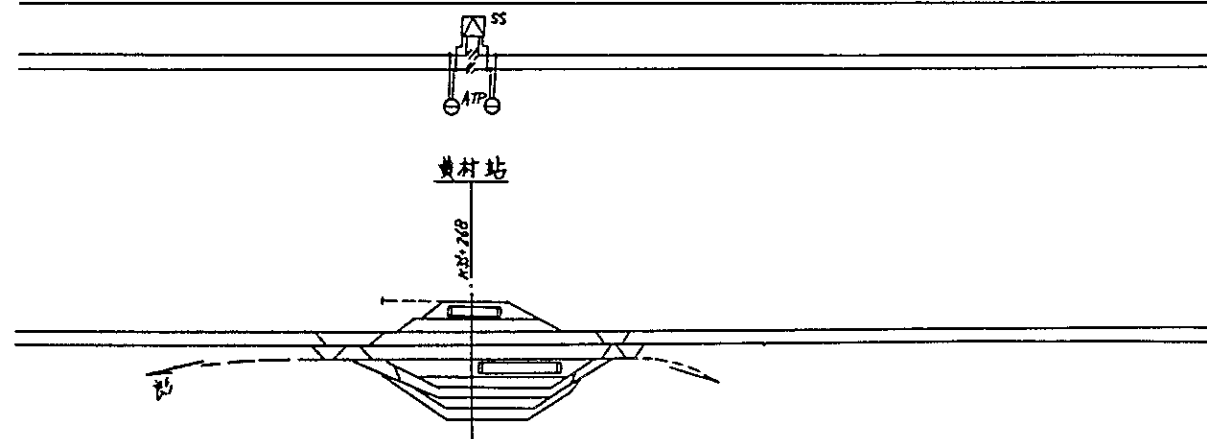
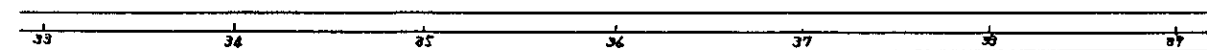
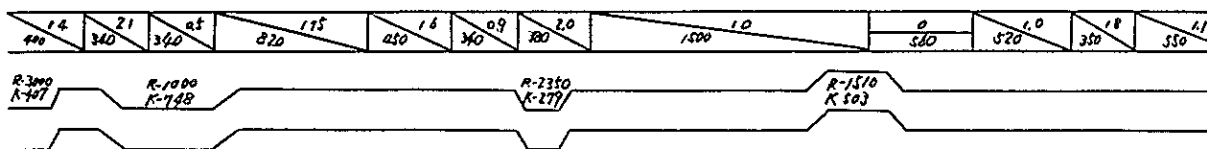
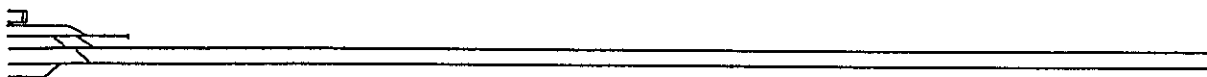
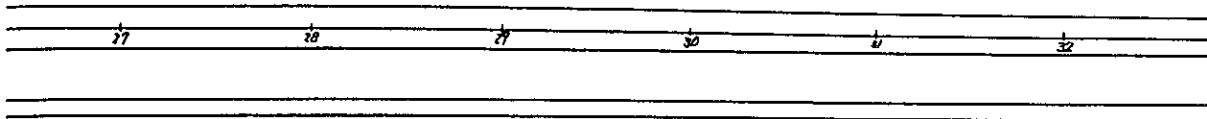
表3

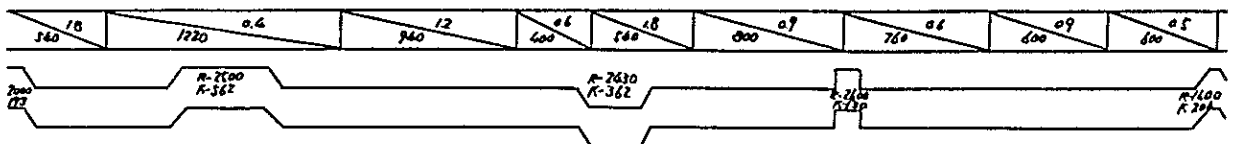
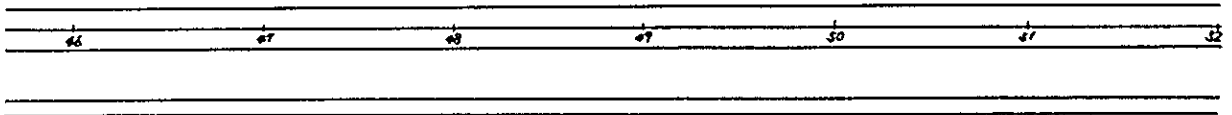
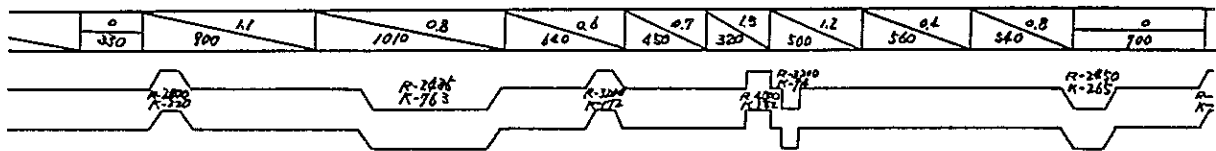
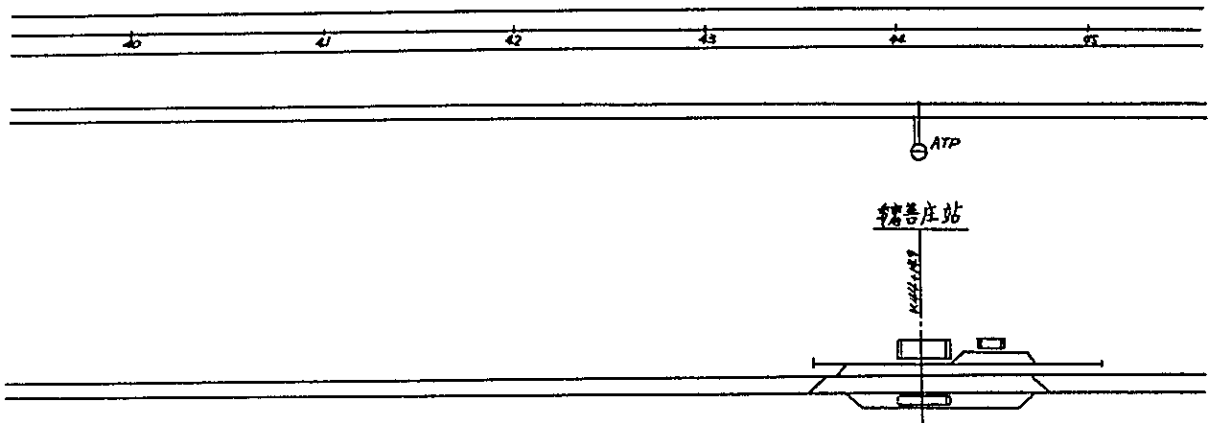
專業	姓名	職務	工作單位
供 變 電	李定邦	主任工程師	
	繆耀珊	主任工程師	
	劉起津	工程師	
	梁志忠	工程師	
			小計 4名
電 車 線	張際助	工程師	
	王濟立	工程師	
	單啟發	工程師	
			小計 3名

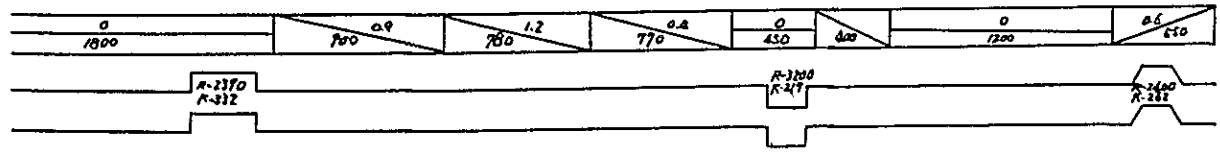
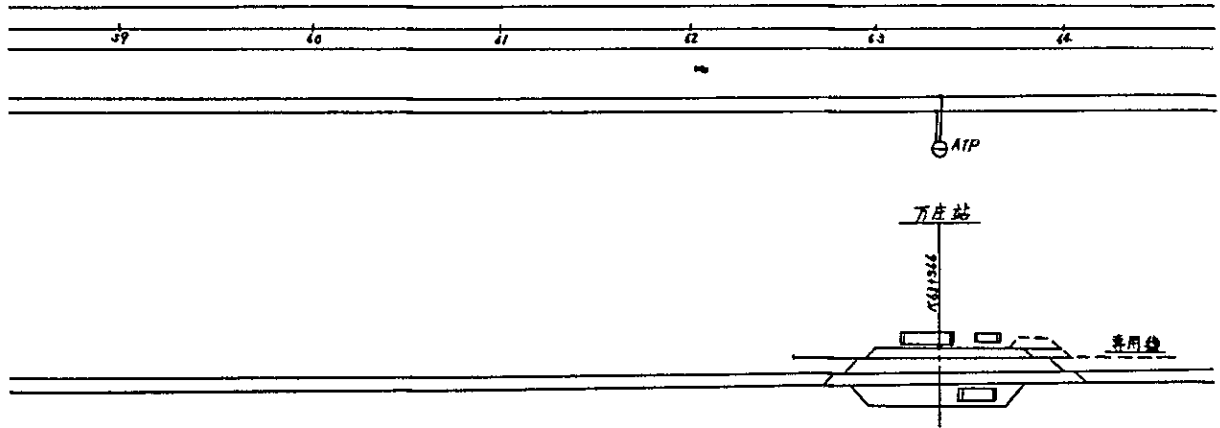
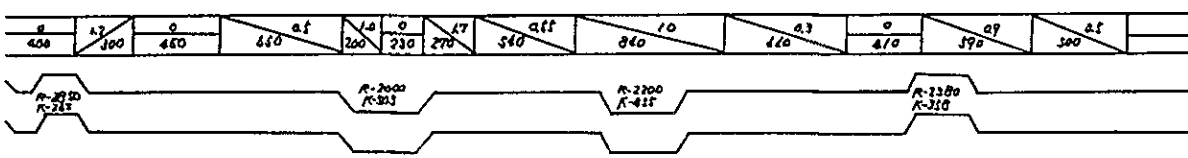
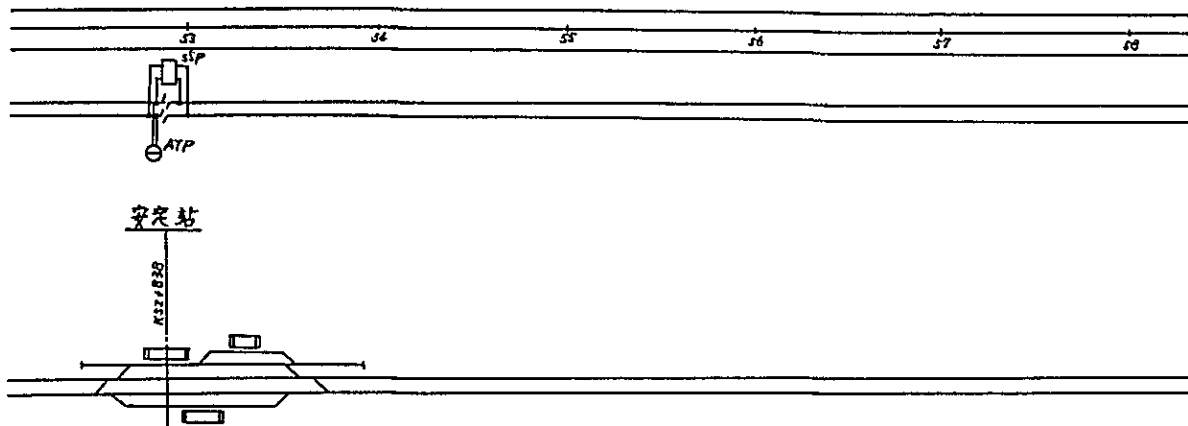
付 2 - 1 北京天津間き電系統図

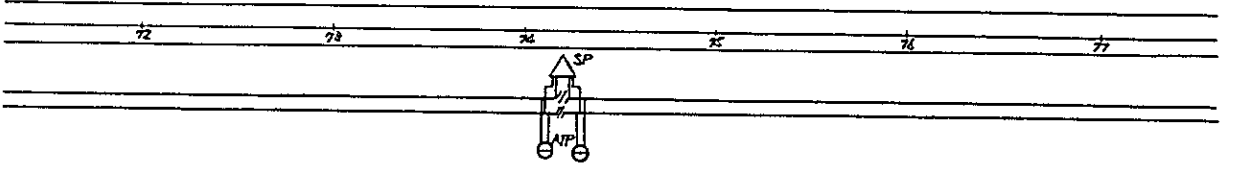
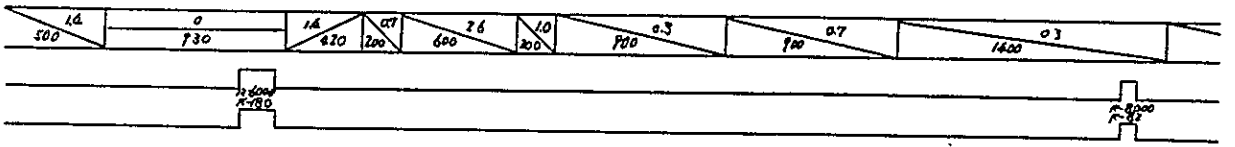
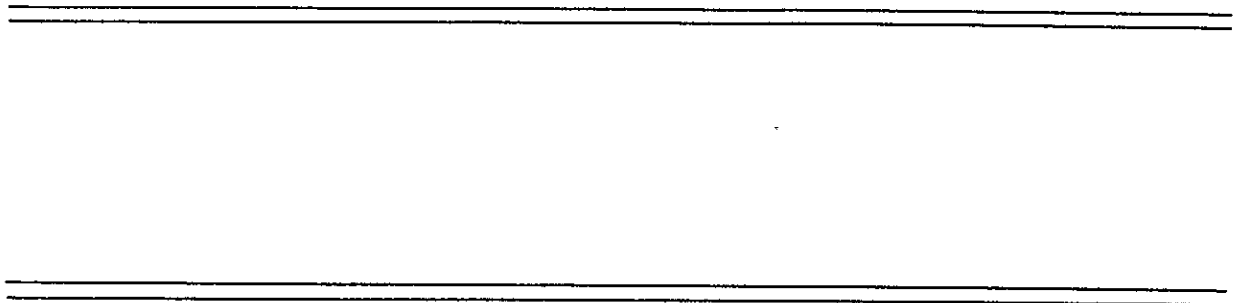
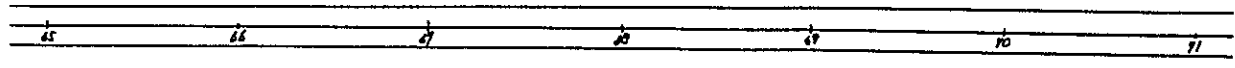








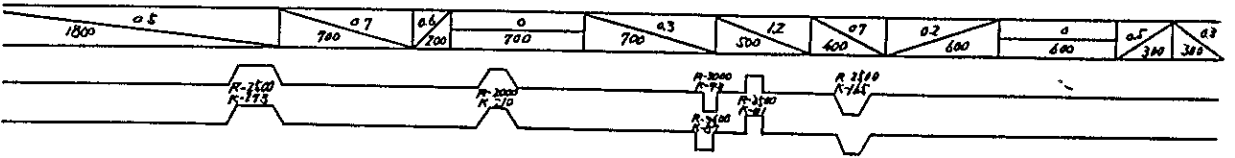


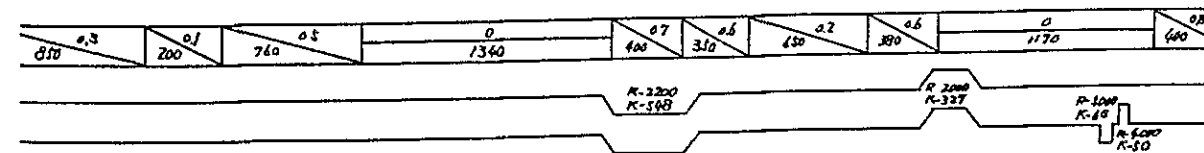
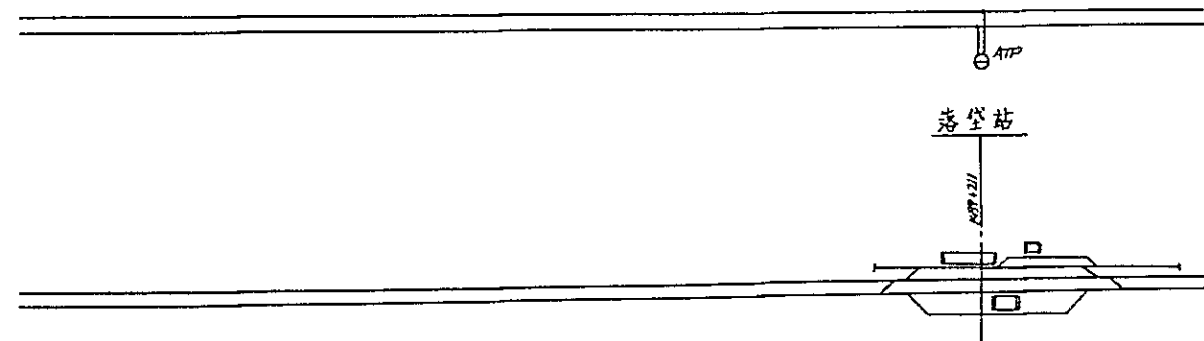
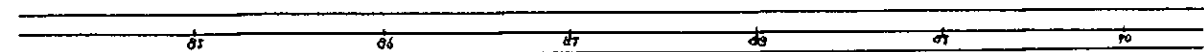
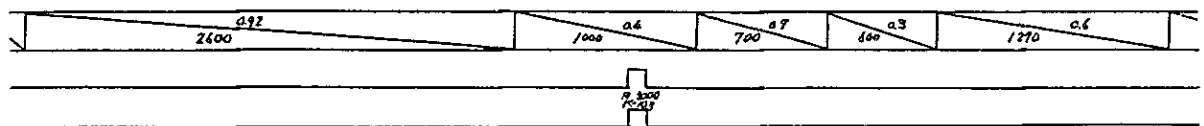
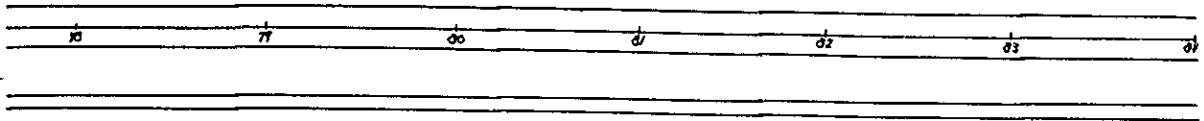


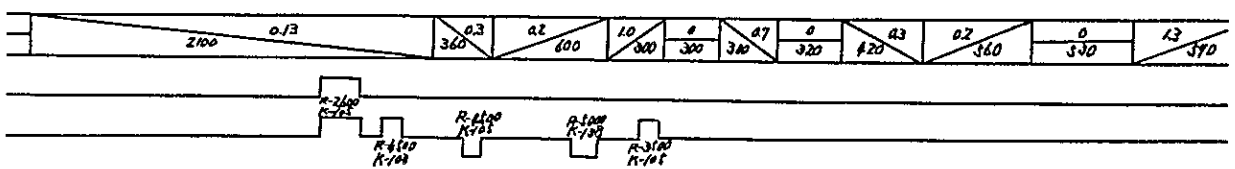
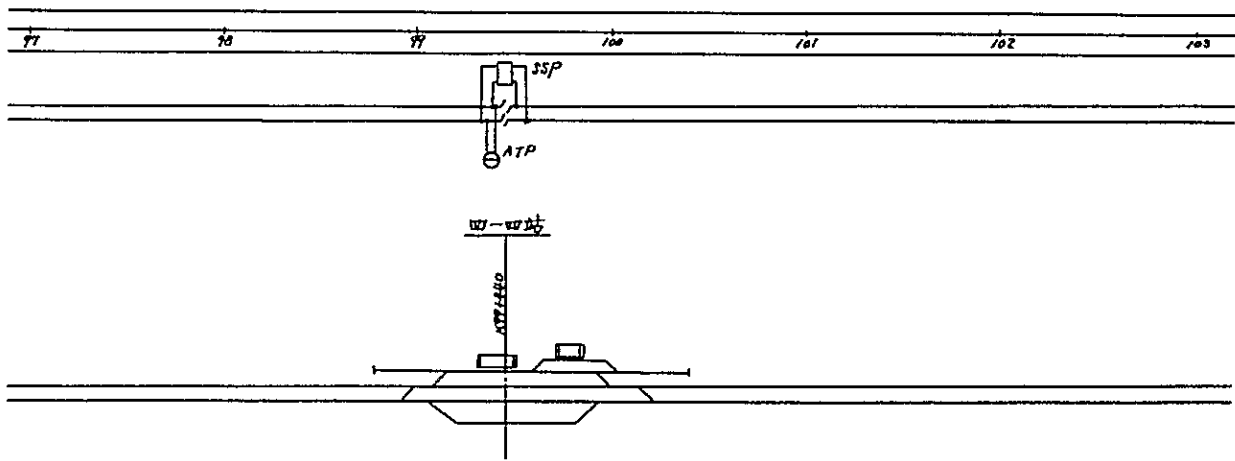
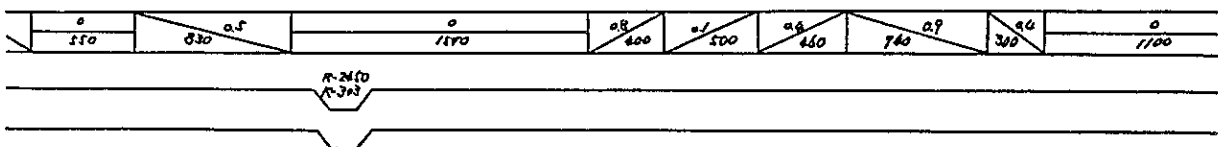
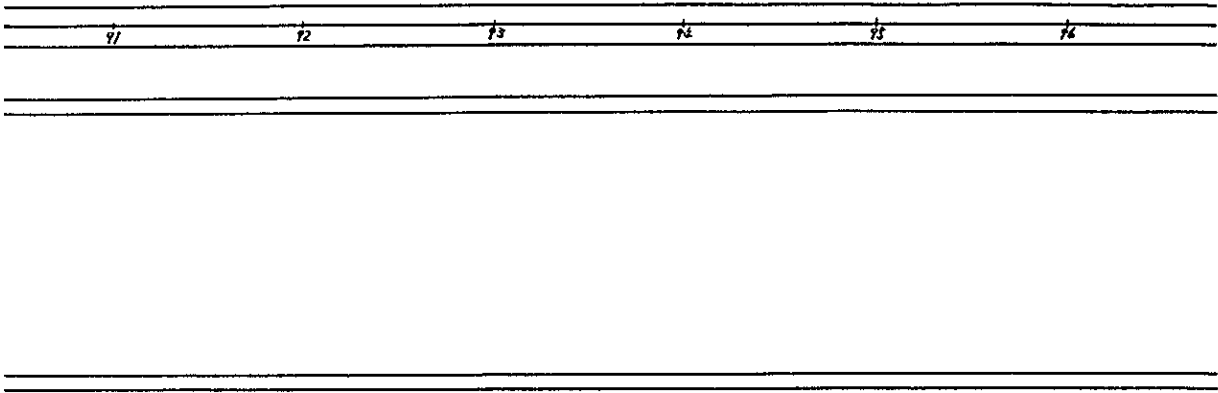
廊坊站

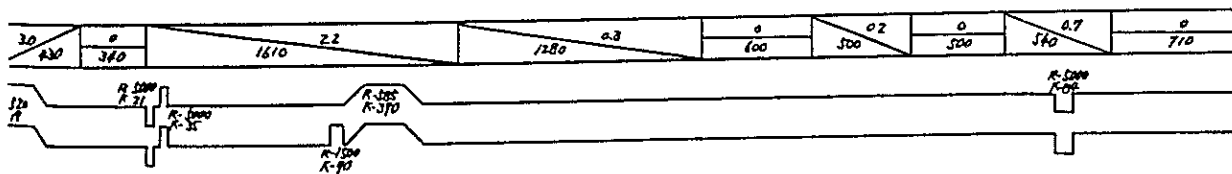
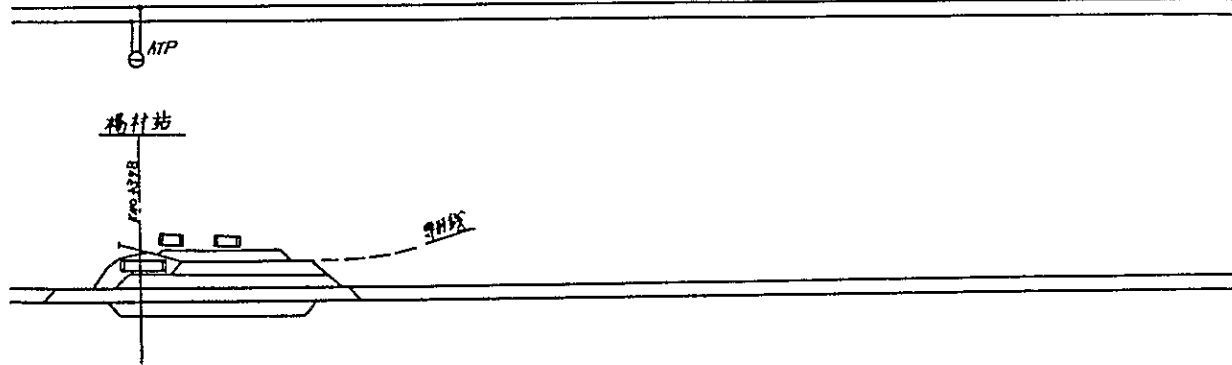
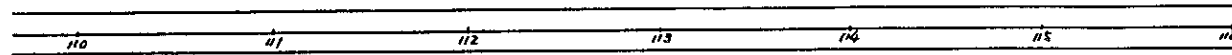
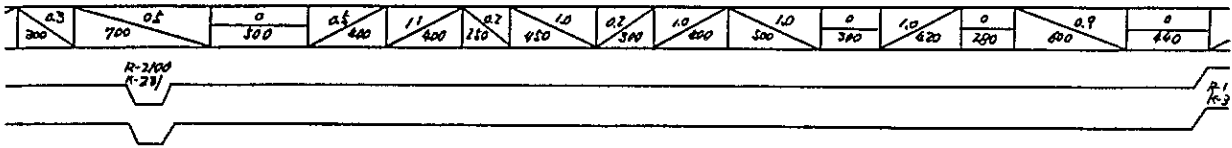
新貨站

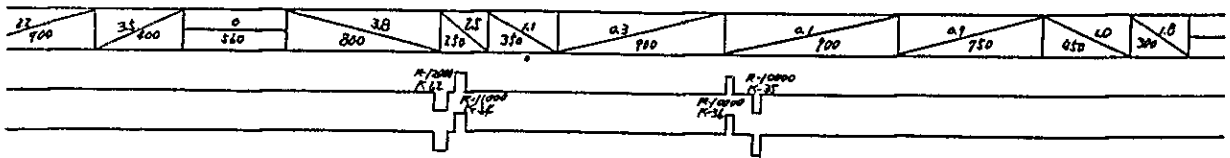
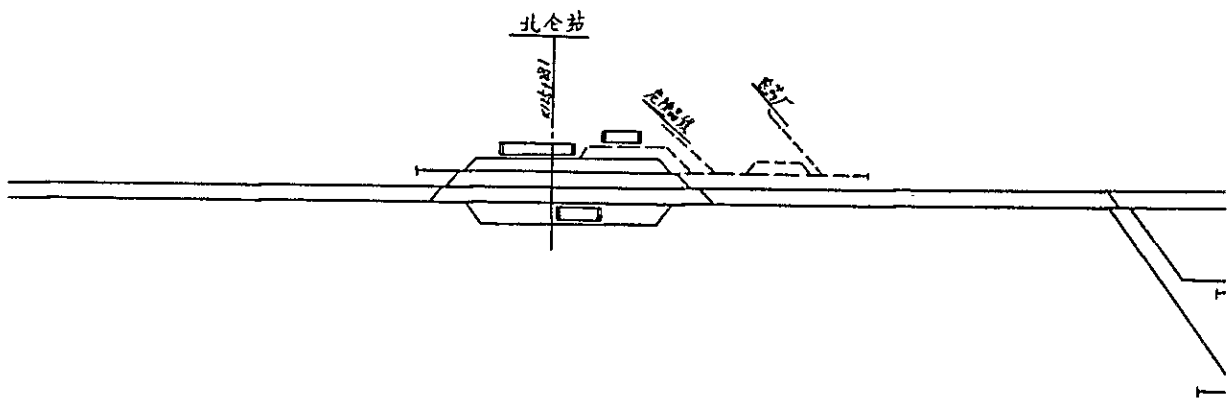
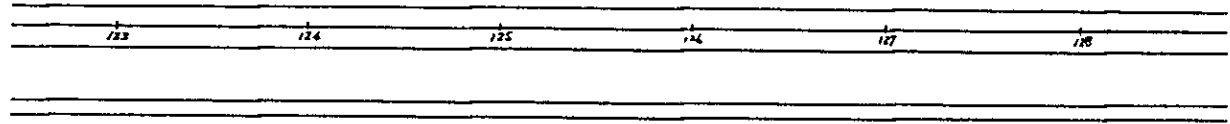
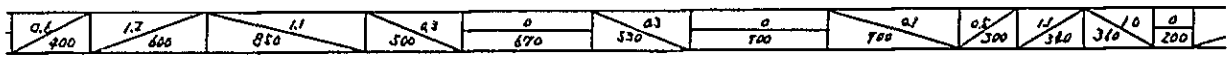
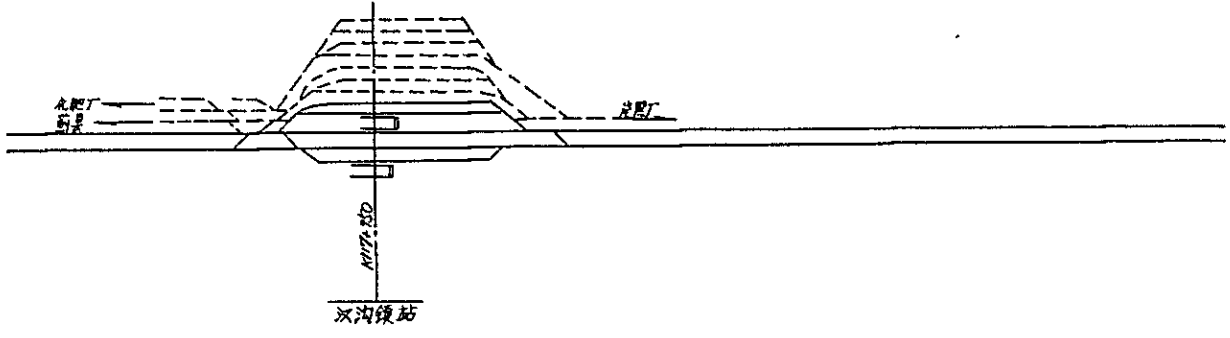
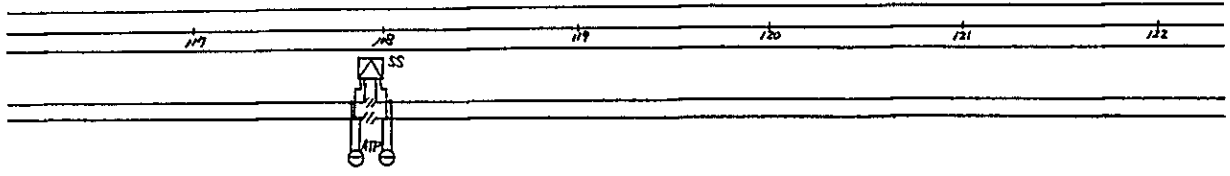
貨房

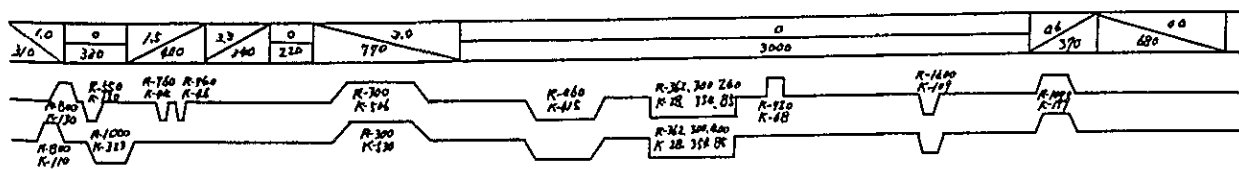
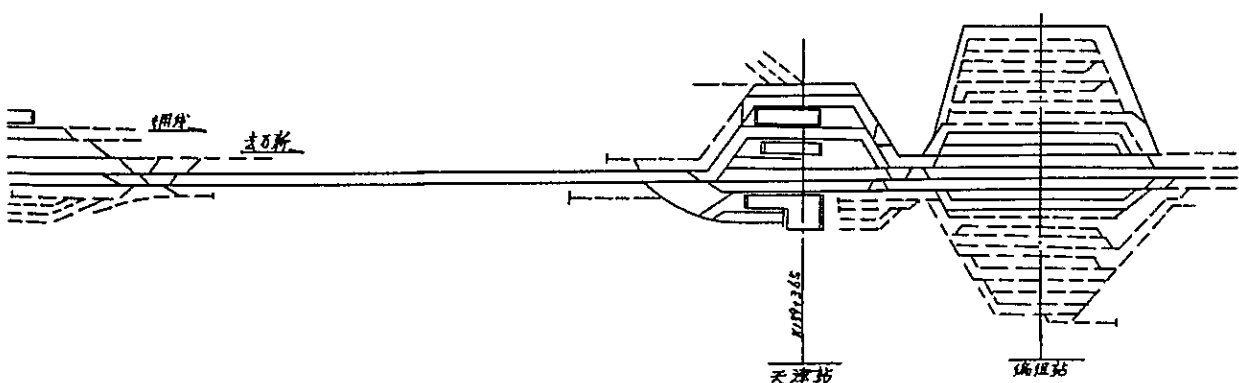
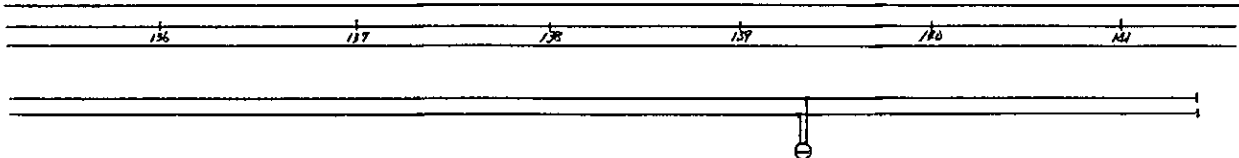
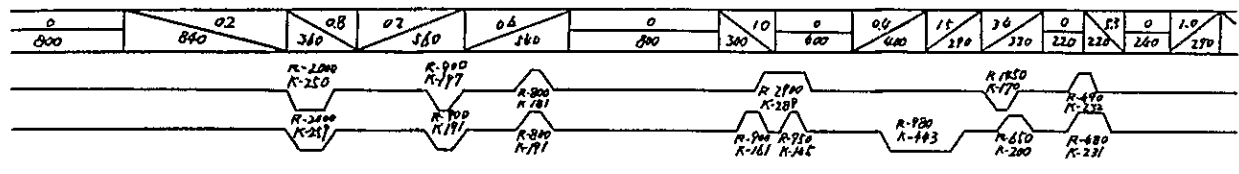
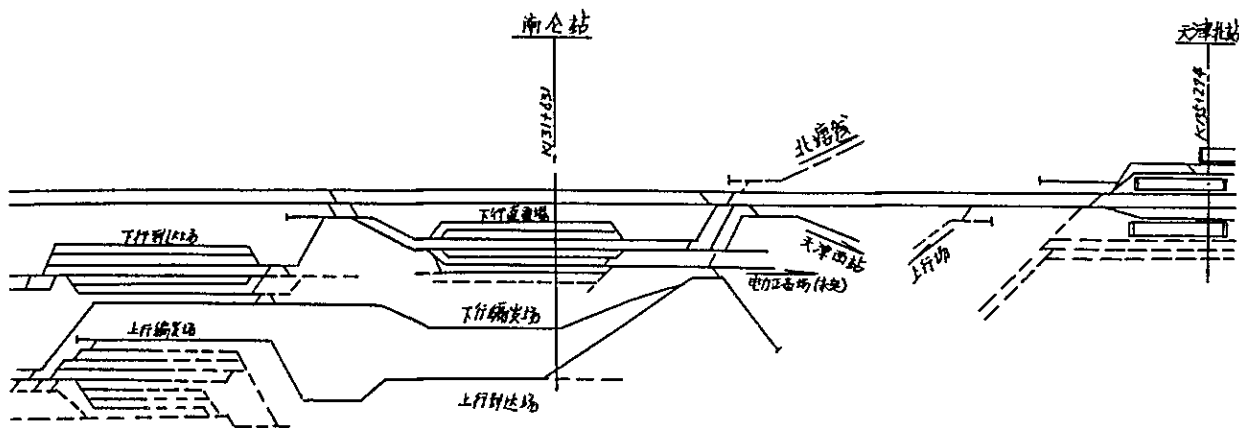
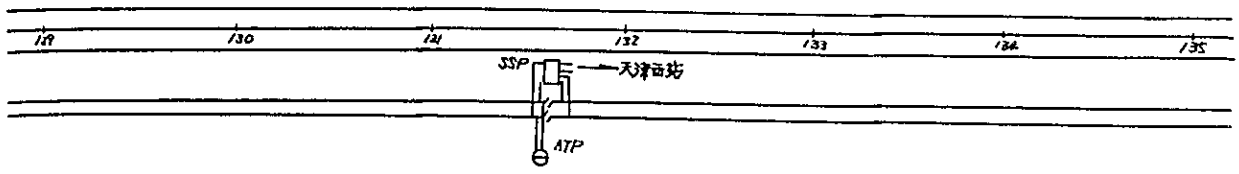




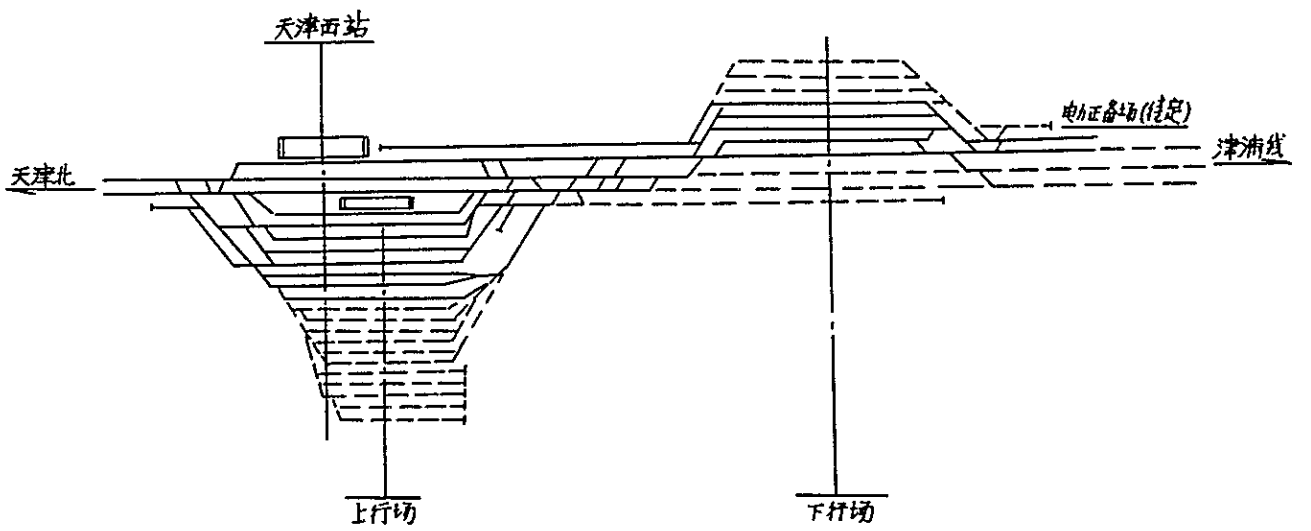
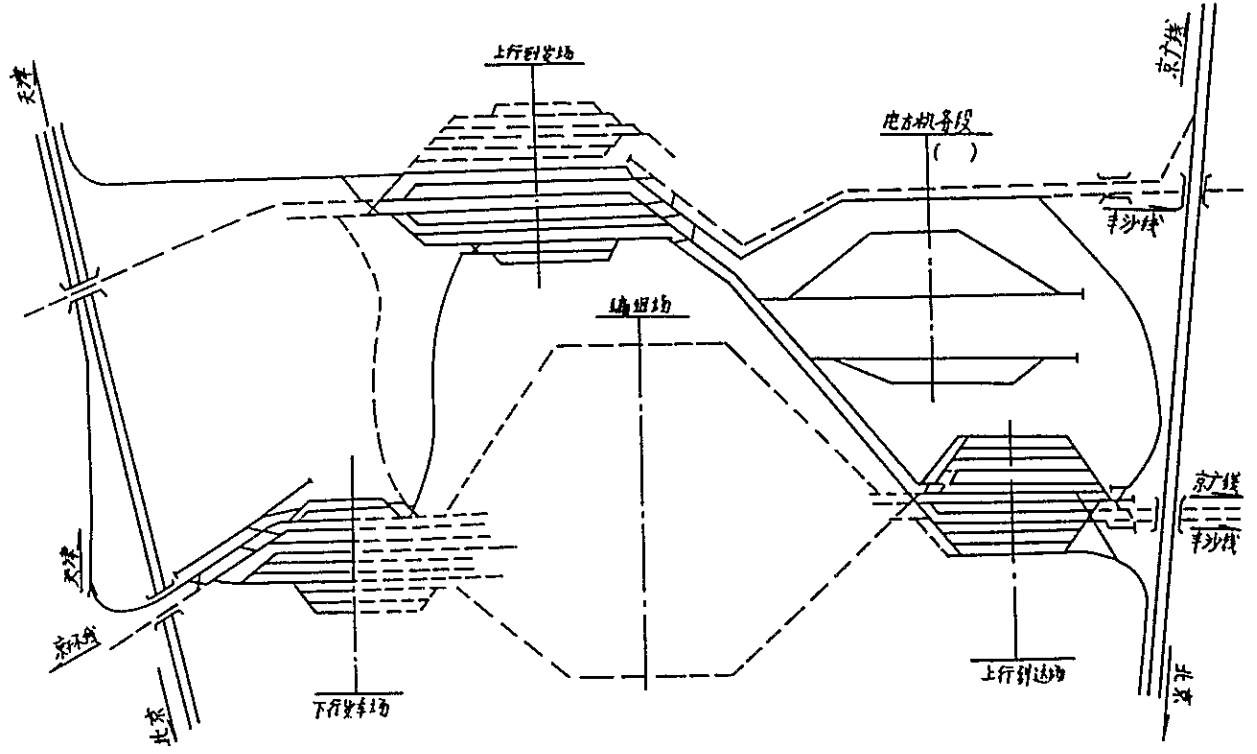




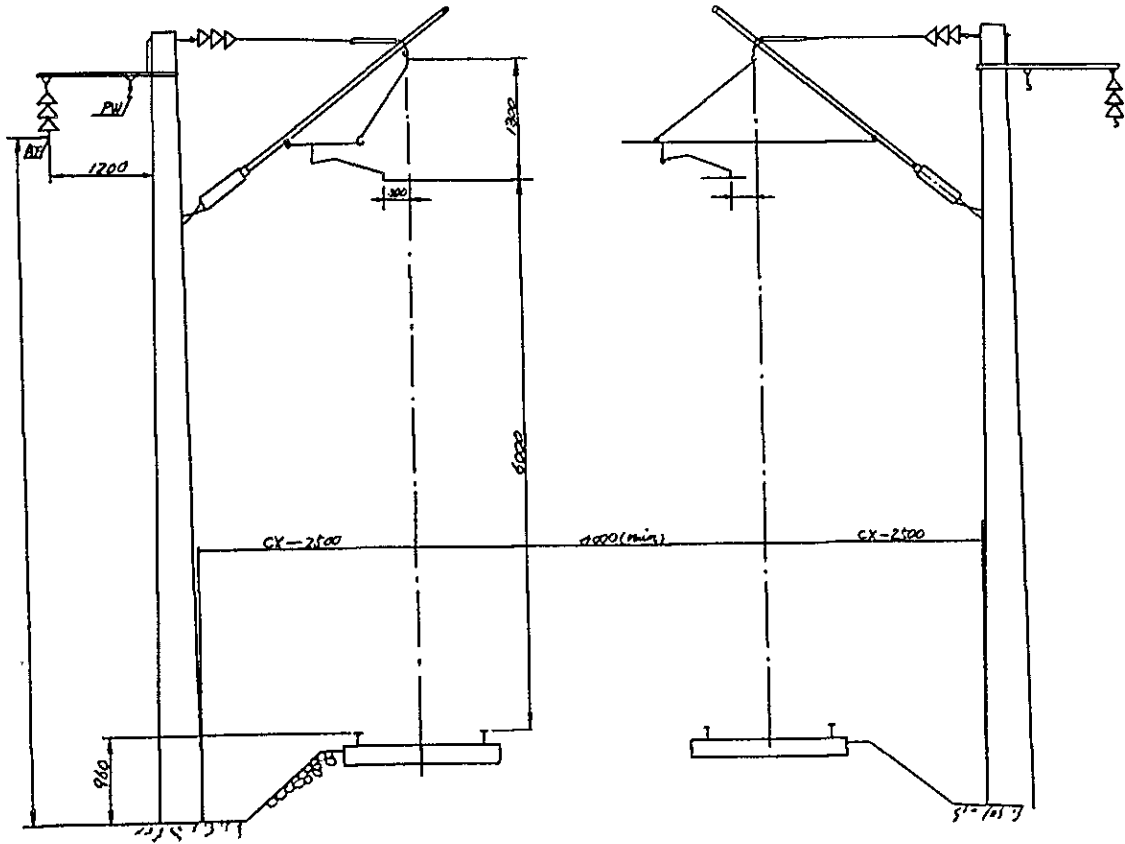




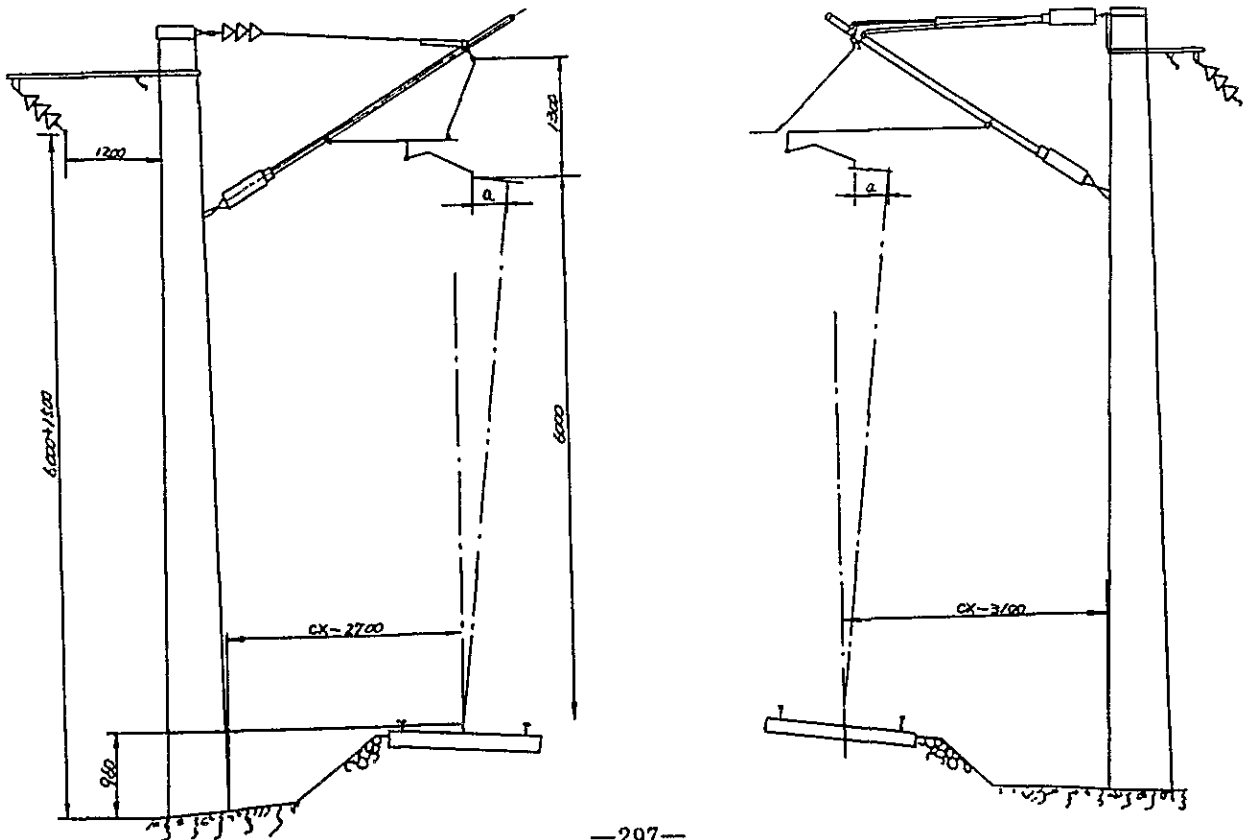
丰台四站示意图



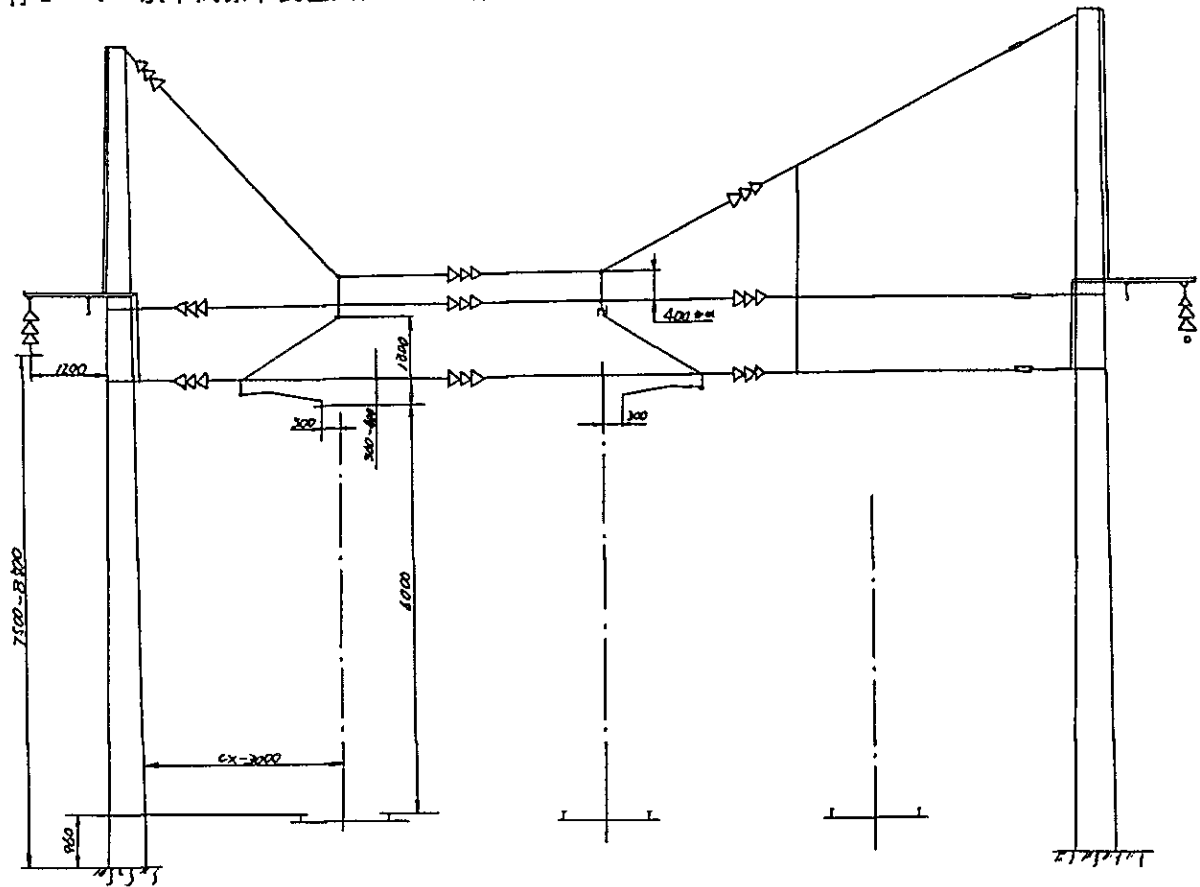
付 2-2 駅中間標準装柱図，可動ビーム式（直線区間）



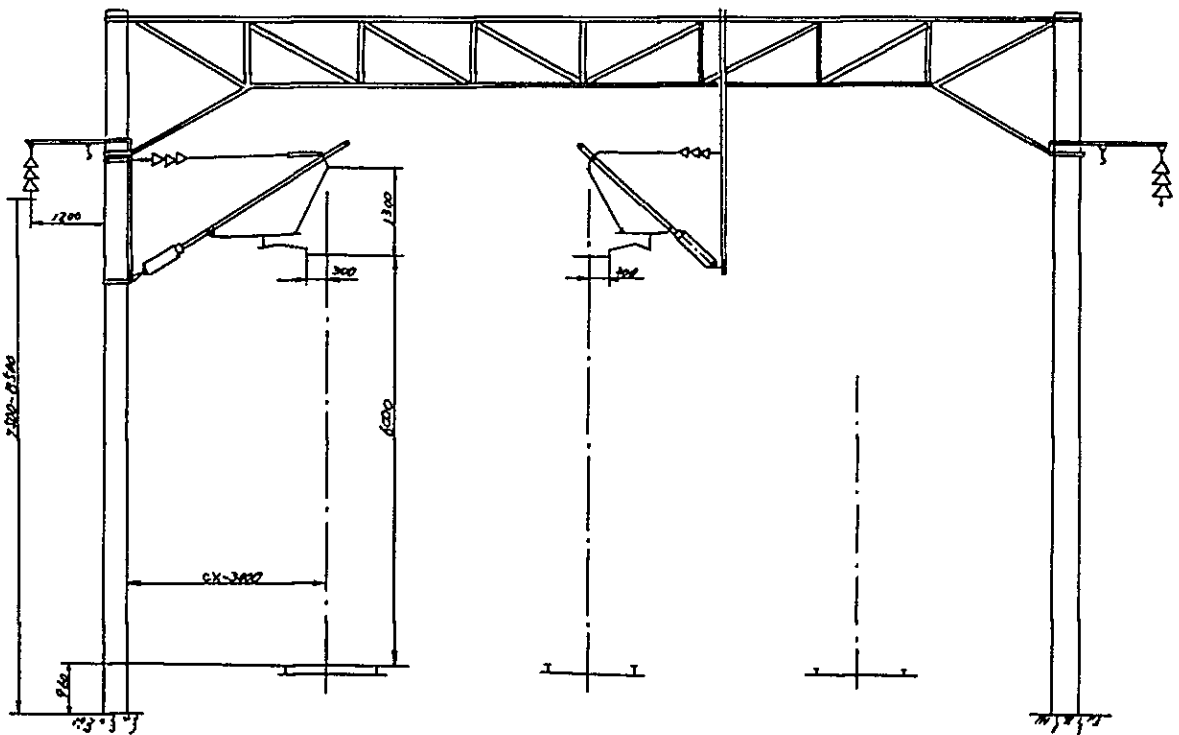
付 2-3 駅中間標準装柱図，可動ビーム式（曲線区間）



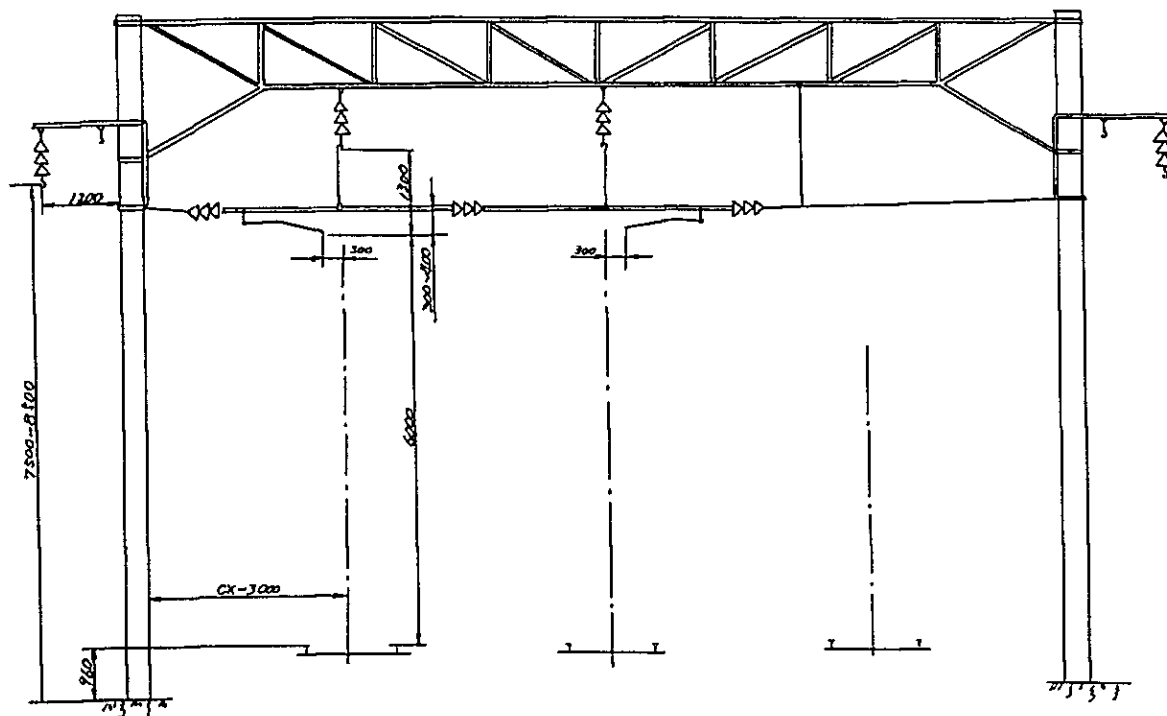
付 2 - 4 駅中間標準装柱図，スパン線ビーム式



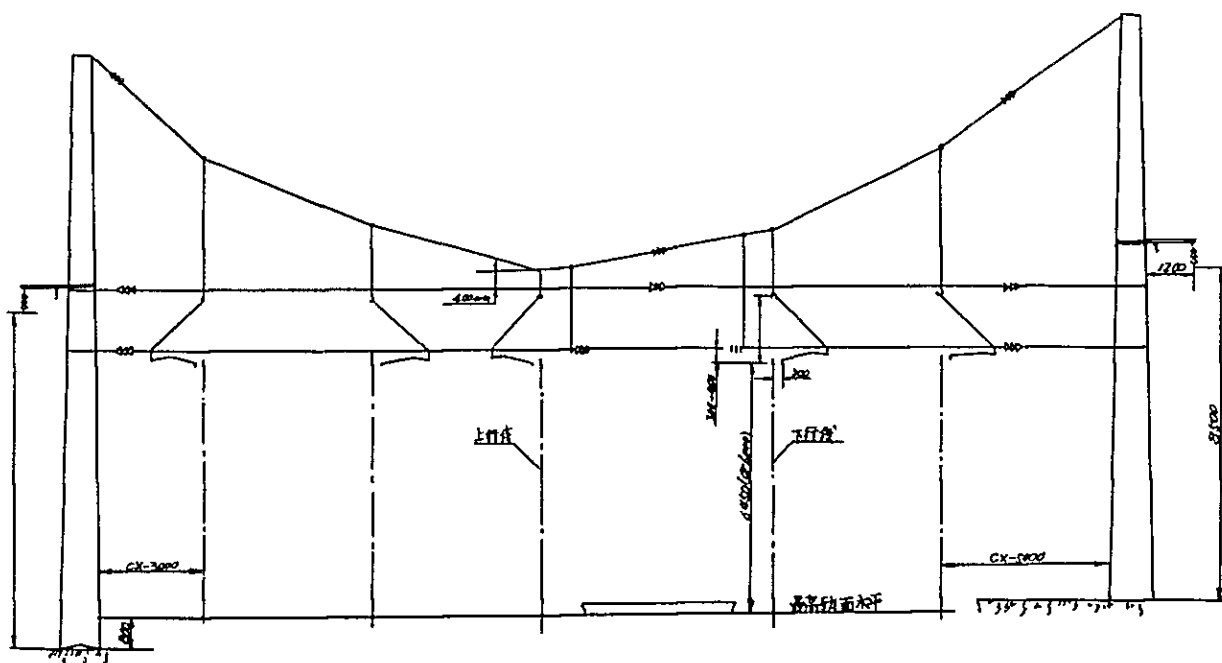
付 2 - 5 駅中間標準装柱図，固定・可動ビーム併用式



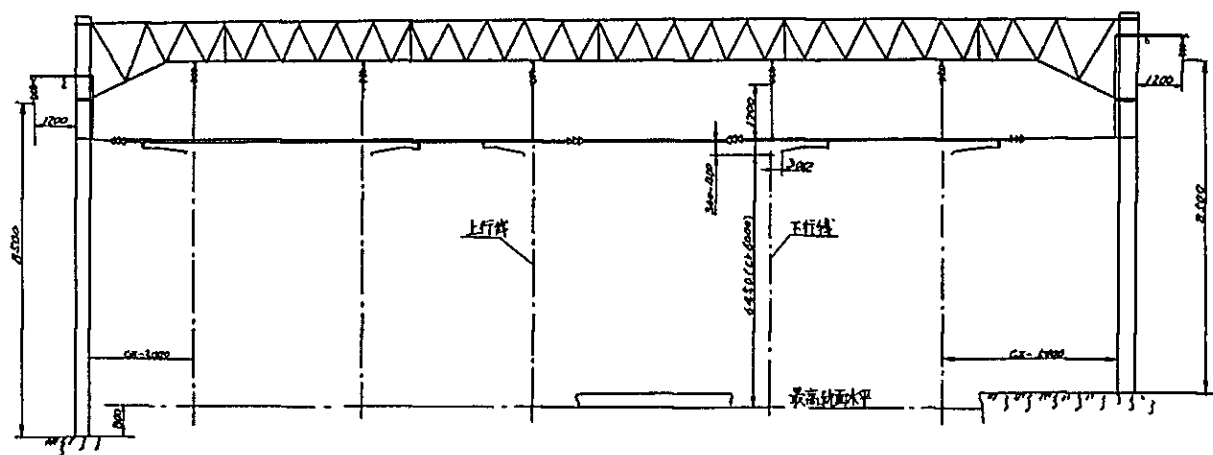
付 2 - 6 駅中間標準装柱図，固定ビーム式



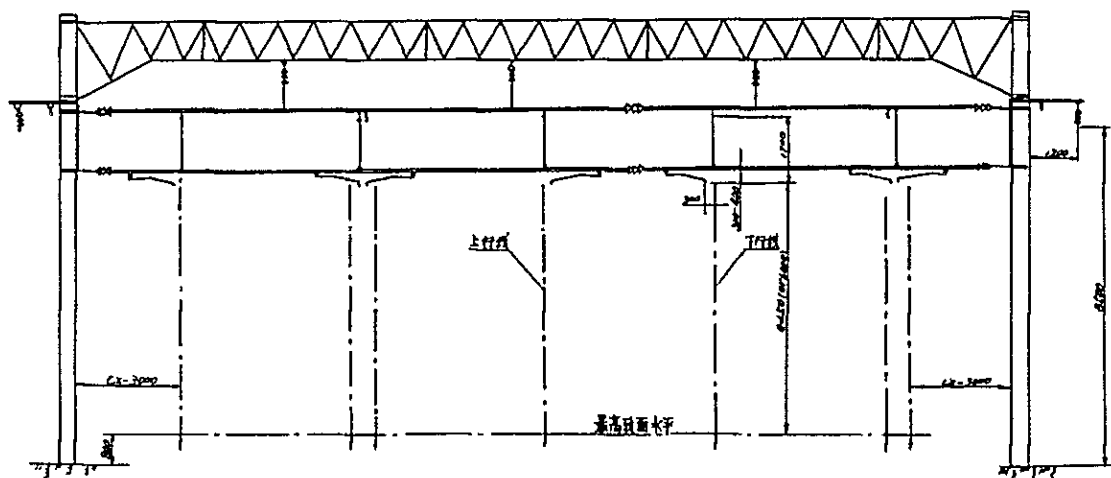
付 2 - 7 駅構内標準装柱図，スパン線ビーム式



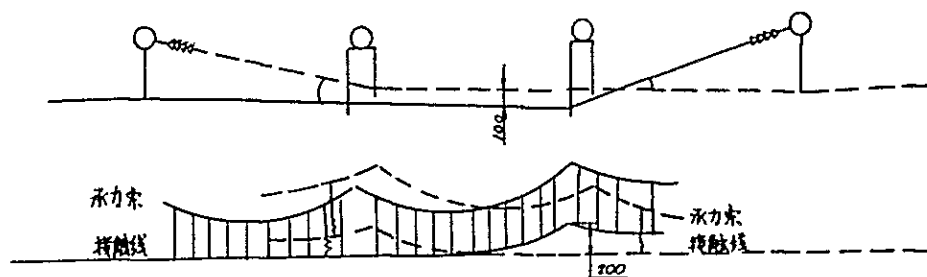
付 2-8 駅構内標準装柱図，固定ビーム式(I)



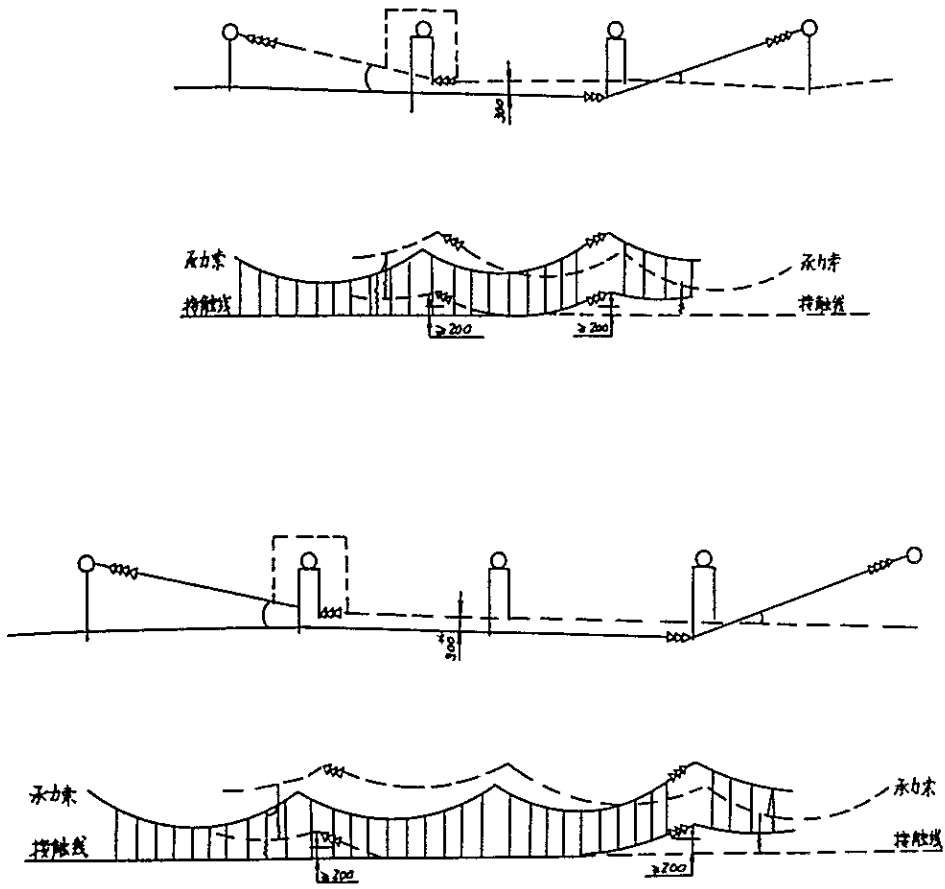
付 2-9 駅構内標準装柱図，固定ビーム式(II)



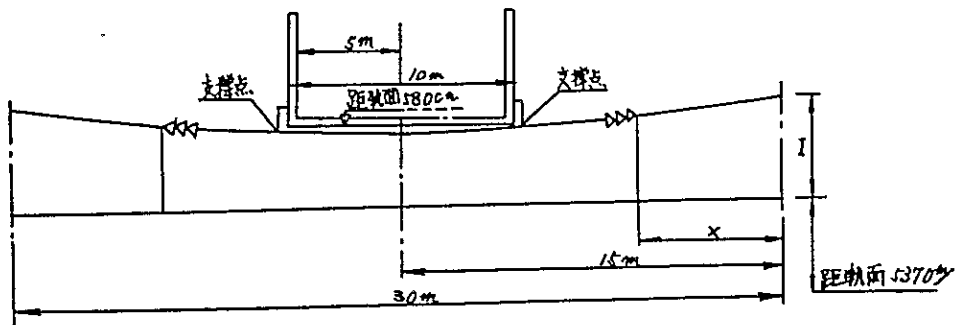
付 2-10 平行区間構造図 (エアジョイント)



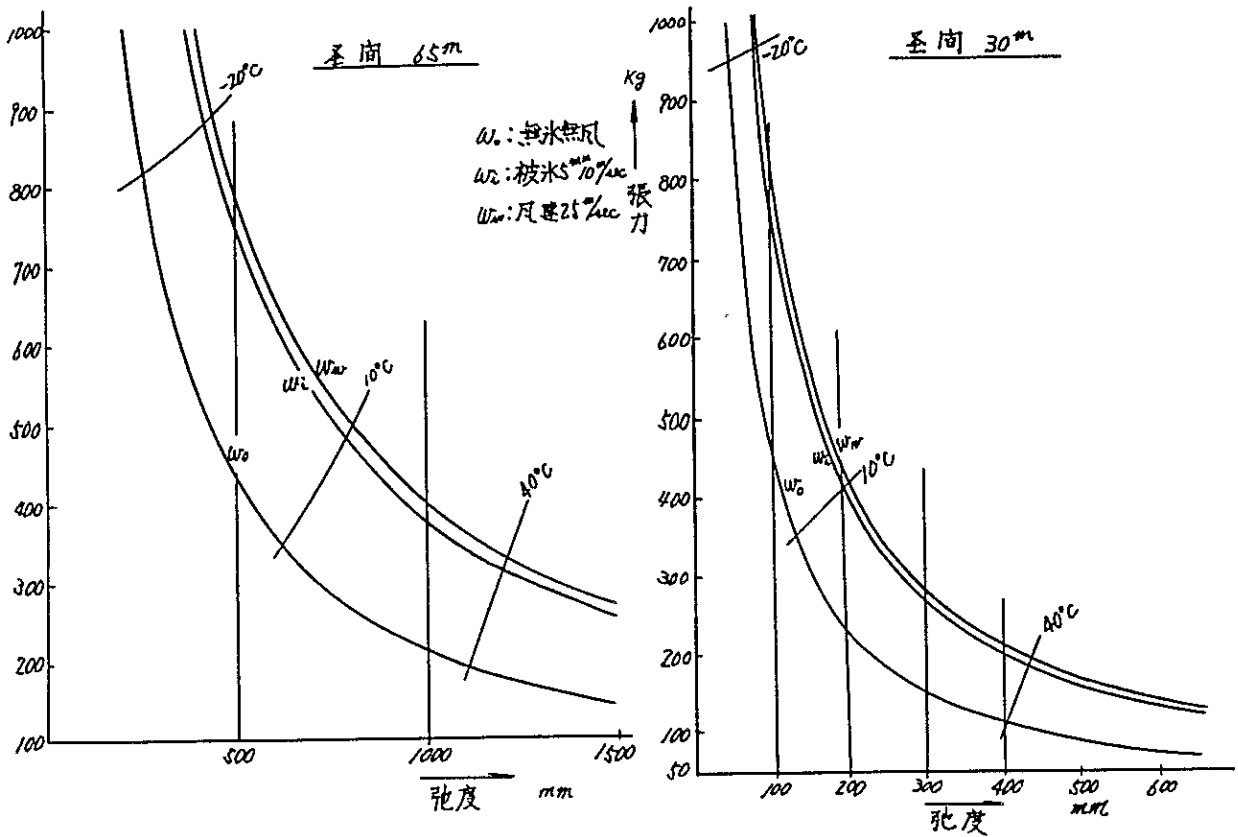
付 2 - 11 平行区間構造図 (エアセクション)



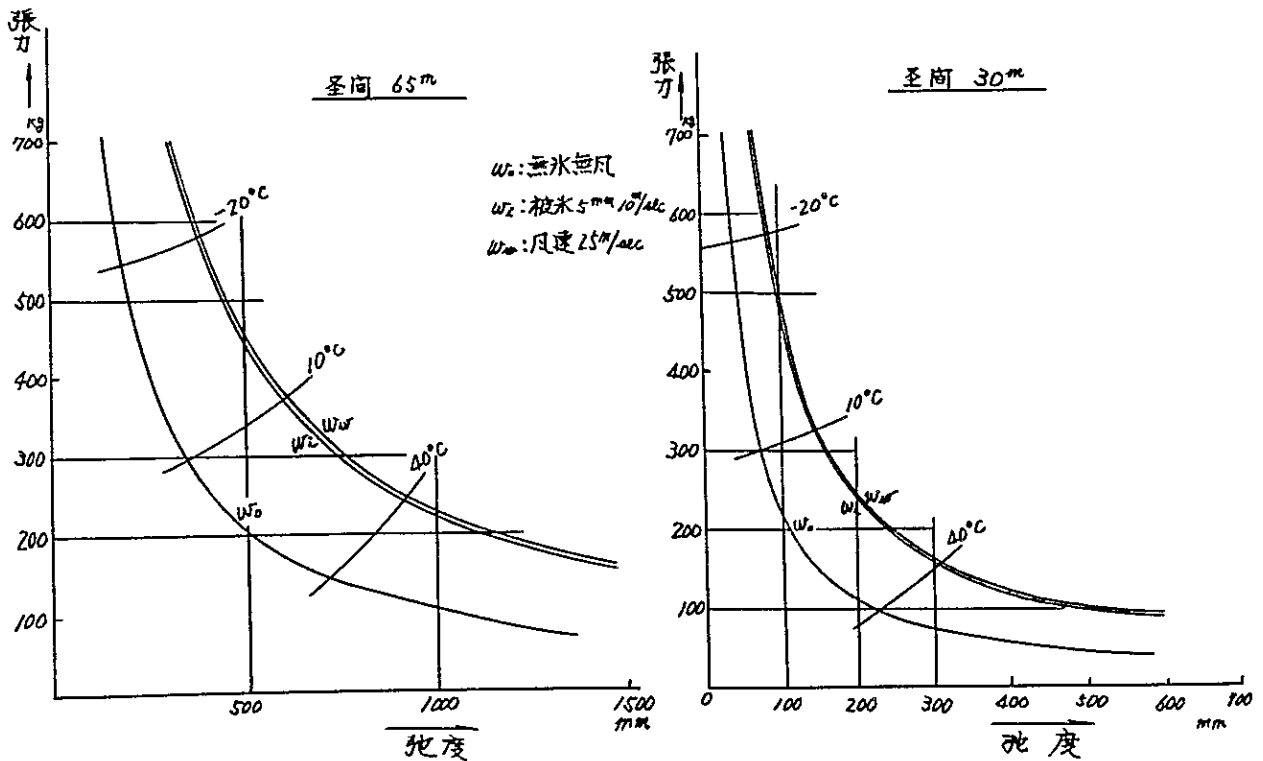
付 2 - 12 豊台駅跨線橋下架線構造図



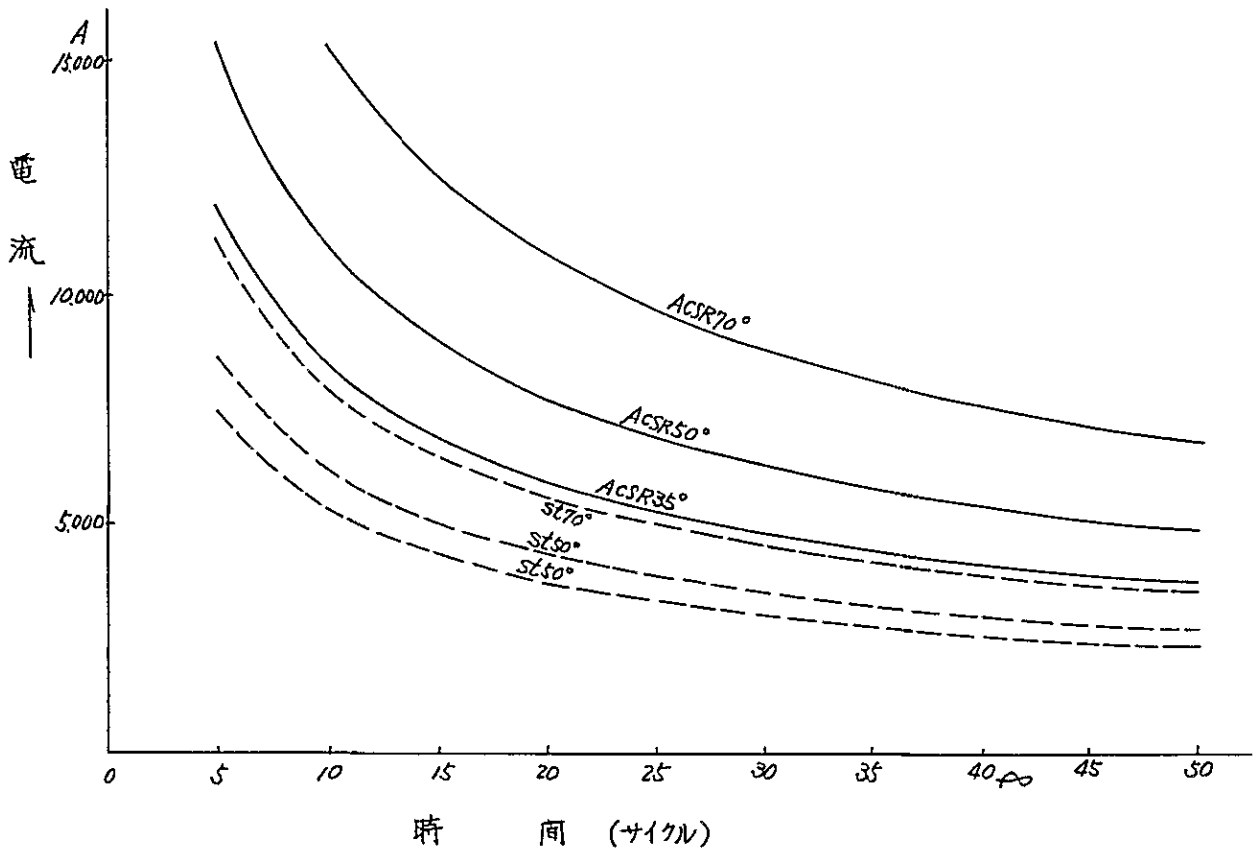
付 2 - 13 H-A1 150 mm 弛度張力曲線



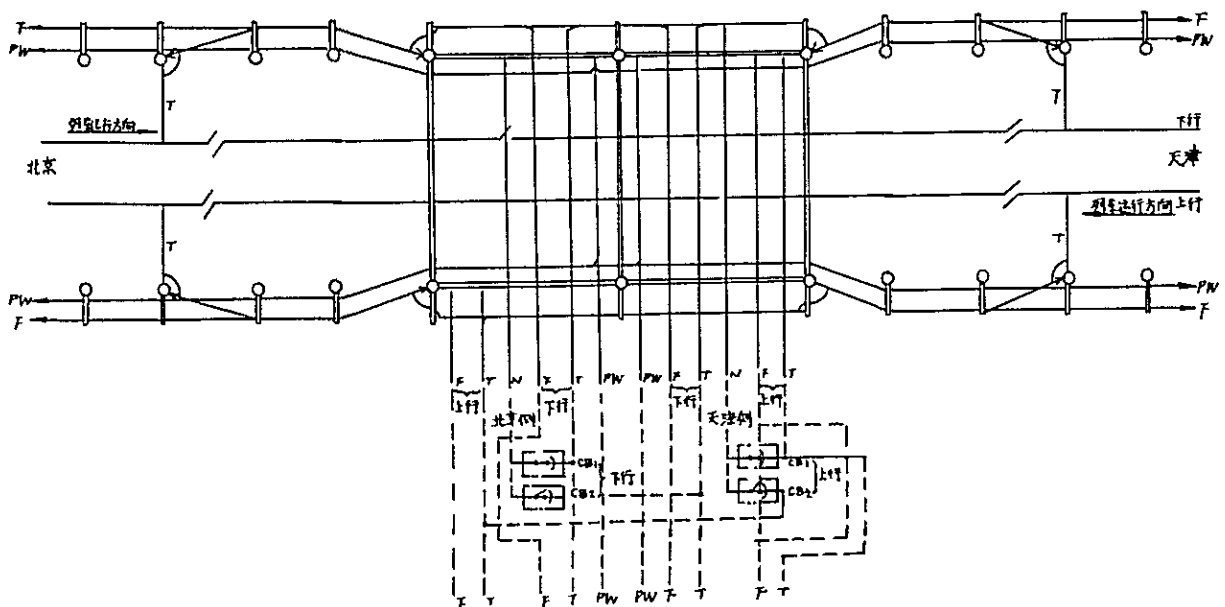
付 2 - 14 ACSR 50 mm 弛度張力曲線



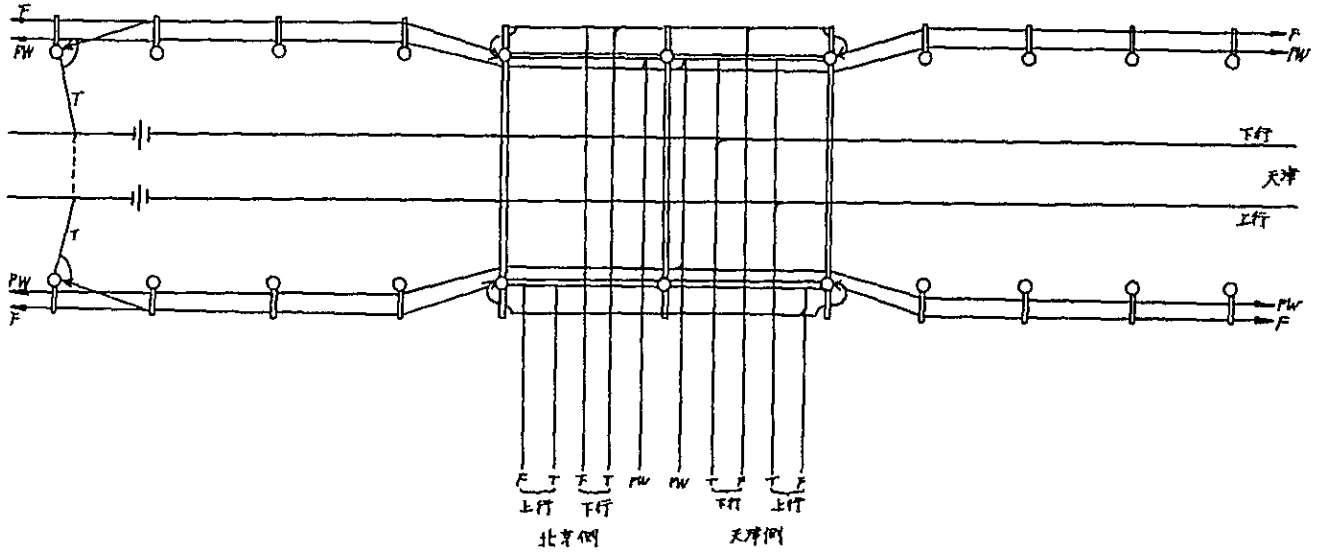
付 2 - 15 保護線の短時間電流容量



付 2 - 16 変電所引出し設備構造図(1)

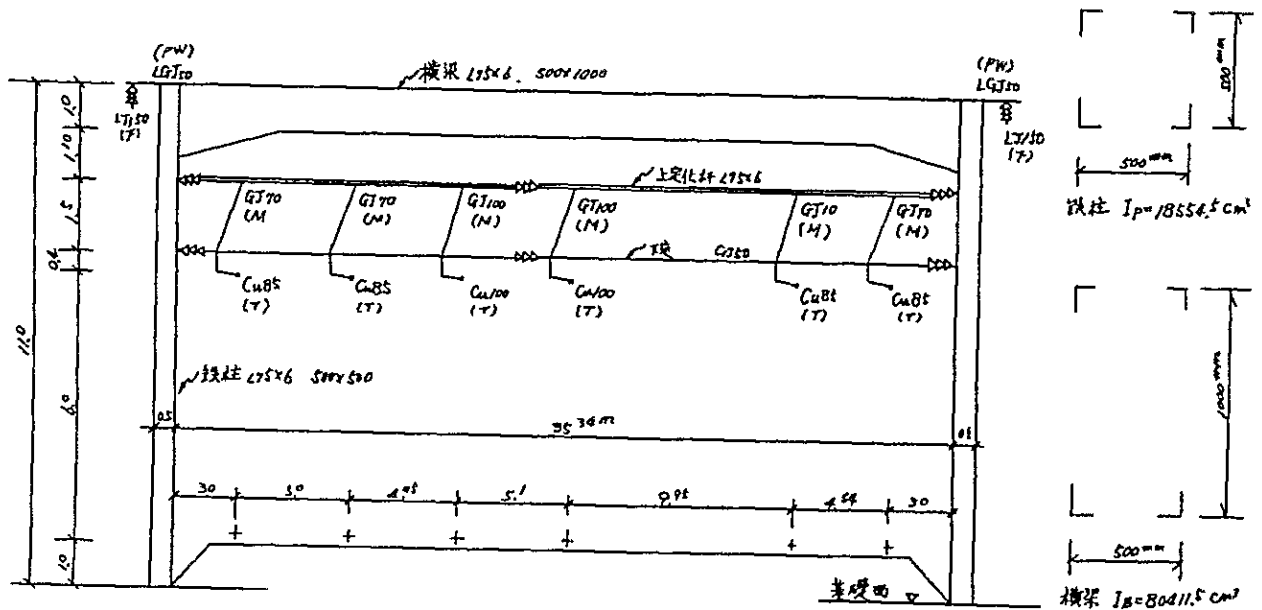


付 2 - 16 変電所引出し設備構造図(2)



付 2 - 17 廊坊駅門型支持物の強度計算

一 装配図 (縦向 1 : 100 横向 1 : 200)



二 設計条件

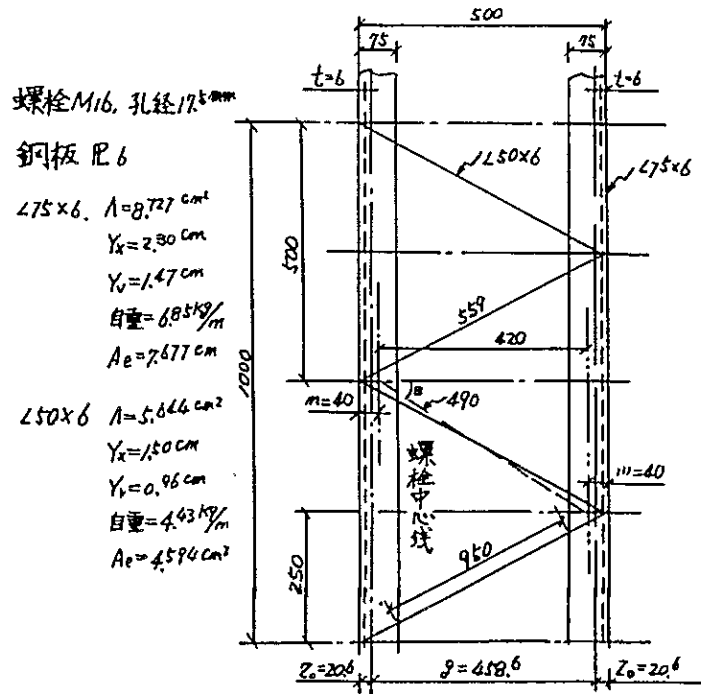
地区	准温度 15°C, 最高温度 40°C, 最低温度 - 10°C, 最大風圧 25 m/sec
架機方式	交流 25,000 V,
線路平面	直線, 値 300 mm
鉄柱	75 × 6, 500 × 500 (SS 41)
横梁	75 × 6 500 × 1,000 (SS 41)
基礎	井筒形基礎

三 宅線 及技術特性

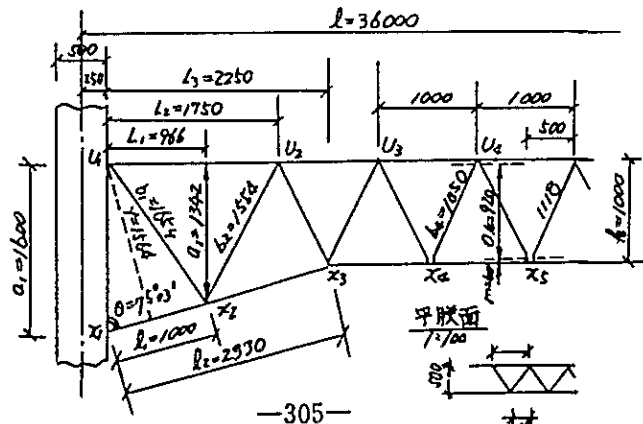
線 別	准張力 (Kg)	線截面高度或直径 d (mm)	每米重量 (Kg/m)	准風圧 (Kg/m)
承 力 索	GJ 100	2,000	13.0	0.859
	GJ 70	1,500	11.0	0.615
下 定 位 繩	GJ 50		9.0	0.359
宅 車 線	Cu 100	1,000	11.8	0.890
	Cu 85	850	10.8	0.760
饋 宅 線	LJ 150	1,000	15.8	0.407
P W 線	LGJ 50		9.6	0.196

(注 = 准風圧 = $C_x \cdot d \cdot V^2 / 16 = 1.0 \cdot d \cdot (25)^2 / 16 = 40 d \text{ Kg/m}$)

四 鉄柱尺寸



五 横梁尺寸



荷 載 表

構 件	垂 直 荷 載			風 向 垂 直 線 路 時				風 向 平 行 線 路 時						
	單 重	數 量	共 重(kg)	單 位 風 壓	數 量	風 力 Pi (kg)	力 作 用 點 距 地 高 度 hi (m)	Mi = P i h i (kg-m)	單 位 風 壓	數 量	風 力 Pi (kg)	力 作 用 點 距 地 高 度 hi (m)	Mi = P i h i (kg-m)	
													垂 直 線 路	平 行 線 路
硬 橫 梁	70 kg/m	36 m	2,520						21 kg/m	36 m	756	10.5		7,938
	20 kg/m	4 組	80	6 kg/組	4 組	24.4	10	240	6 kg/組	4 組	24	10		240
賢 杓 絕 緣 子 及 零 件	6.85 kg/m	36 m	246.6		65 × 2 = 130 m				6.5 kg/m	36 m	234	9		2,106
	20 kg/組	3 組	60	2 kg/組	3 組	6	9	54	6 kg/組	3 組	18	9		162
上 定 位 杆	0.859 kg/m	65 × 2 = 130 m	111.7	0.520 kg/m	65 × 4 = 260 m	67.6	9	608.4						
	0.615 kg/m	65 × 4 = 260 m	159.9	0.440 kg/m		114.4	9	1,029.6						
承 力 索	0.359 kg/m	36 m	12.9						0.360 kg/m	36 m	13.0	7.4		96.2
	20 kg/組	3 組	60	2 kg/組	3 組	6	7.4	44.4	6 kg/組	3 組	18	7.4		133.2
下 定 位 繩	0.890 kg/m	65 × 4 = 130 m	115.7	0.472 kg/m	65 × 2 = 130 m	61.4	7.4	454.4						
				橫 張 力 4 × 0.3 = 1.2 kg	1,000 × 2 = 2,000 kg	36.9	7.4	273.1	橫 張 力				7.4	273.1
電 車 線	0.760 kg/m	65 × 4 = 260 m	174.8	0.432 kg/m	65 × 4 = 260 m	112.3	7.4	831.0						
				橫 張 力 4 × 0.3 = 1.2 kg	850 × 4 = 3,400 kg	62.8	7.4	464.7	橫 張 力				7.4	464.7
定 位 器 及 零 件	5 kg/組	6 組	30											
	上述構件重量之利 W = 35716													
饋 電 線	0.407 kg/m	65 m	26.4	0.632 kg/m	65 × 2 = 130 m	82.2	11	904.2						
	25 kg/組	1 組	25	6 kg/組	2 組	12	11	132	12.4 kg/組	2 組	24.8	11		272.8
P W 線	0.196 kg/m	65 m	12.7	0.384 kg/m	65 × 2 = 130 m	49.9	11	548.9						
	2 kg/組	1 組	2	1 kg/組	2 組	2	11	22	1 kg/組	2 組	2	11		22
鐵 柱	77 kg/m	11 m	847	24 kg/m	2 × 11 = 22 m	528	5.5	2,904	24 kg/m	2 × 11 = 22 m	528	5.5		2,904
	Σ MI ⁽¹⁾ = 8,510.7													Σ MI ⁽²⁾ = 1,617.8

六 荷載計算

1. 鐵柱每米重 = $4 \times 6.65 + 16 \times 4.43 \times 0.559 + 10 = 77 \text{ kg/m}$
2. 橫梁每米重 = $4 \times 6.85 + 4 \times 4.43 \times (1.118 + 0.707) + 10 = 70 \text{ kg/m}$
3. 每組腕臂，絕緣子及零件重：

腕臂 $\angle 50 \times 6$ ，長 1.5 m ，重量 = $4.43 \times 1.5 = 7 \text{ kg}$

絕緣子及零件 18 kg
25 kg/組

4. 鐵柱風壓：

取 $\psi = 0.6$ ，柱受風高度 $H = 11 \text{ m}$ ，寬度 $a = 0.5 \text{ m}$ ，前方兩片間距 $b = 0.5 \text{ m}$ ，

根據 $\psi = 0.6$ ，查 P 151 表， $K = 1.7$

根據 $\psi = 0.6$ ，和 $H/a = 11/0.5 = 22 > 5$ ，查 P 151 表， $F = 1.0$

根據 $\psi = 0.6$ ，和 $b/a = 0.5/0.5 = 1.0$ ，查 P 151 圖， $M = 1.15$

風力係數 $C_x = K \cdot F \cdot M = 1.7 \times 1.0 \times 1.15 = 1.955$

鐵柱風壓 = $C_x (\psi a) \cdot V^2 / 16 = 1.955 \times (0.6 \times 0.5) \times (25)^2 / 16 = 24 \text{ kg/m}$

5. 橫梁風壓 = $(2 \times 75 + 2 \times 50 \times 0.95) \times 220 \times \frac{(25)^2}{(40)^2} \times 10^{-3} = 21 \text{ kg/m}$

6. 上定位杆風壓 = $75 \times 220 \times \frac{(25)^2}{(40)^2} \times 10^{-3} = 6.5 \text{ kg/m}$

7. 每組腕臂，絕緣子零件上風壓：

腕臂 $\angle 50 \times 6$ ，長 1.5 m ，風壓 = $50 \times 1.5 \times 220 \times \frac{(25)^2}{(40)^2} \times 10^{-3} = 6.4 \text{ kg}$

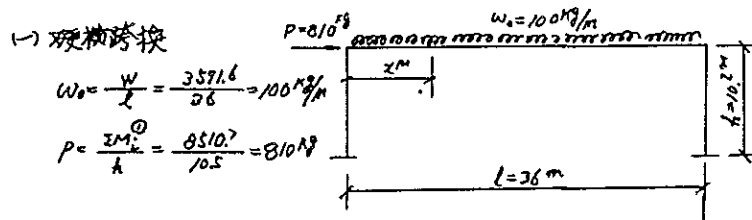
絕緣子及零件 6 kg/kg
12.4 kg/組

8. 荷載表

見下頁。

七 風間垂直線路時計算：

(一) 硬橫跨換算荷載



(二) 硬橫跨內力計算：

$$\text{剛比 } K = \frac{IB}{IP} \times \frac{h}{l} = \frac{80,411.5}{18,554.5} \times \frac{10.5}{36} = 1.26$$

1. $w_0 = 100 \text{ kg/m}$ 作業時：

$$V_A^{w_0} = V_D^{w_0} = \frac{w_0 l}{2} = \frac{100 \times 36}{2} = 1,800 \text{ kg}$$

$$H_A^{\omega_0} = H_D^{\omega_0} = \frac{\omega_0 l^2}{4 h (K + 2)} = \frac{100 \times (36)^2}{4 \times 10.5 \times (1.26 + 2)} = 946.5 \text{ kg}$$

$$M_A^{\omega_0} = M_D^{\omega_0} = \frac{\omega_0 l^2}{12 (K + 2)} = \frac{100 \times (36)^2}{12 \times (1.26 + 2)} = 3,312.9 \text{ kg-m}$$

$$M_B^{\omega_0} = M_C^{\omega_0} = -2 M_A = -2 \times 3,312.9 = -6,625.8 \text{ kg-m}$$

$$M_X^{\omega_0} = \frac{\omega_0 x}{2} \times (1 - x) + M_B = \frac{100 x}{2} (36 - x) + (-6,625.8) \\ = -50 x^2 + 1,800 x - 6,625.8 \text{ (kg-m)}$$

2. $P = 810 \text{ kg}$ 作用時:

$$V_A^P = -V_D^P = -\frac{3 P h K}{1 (6 K + 1)} = -\frac{3 \times 810 \times 10.5 \times 1.26}{36 \times (6 \times 1.26 + 1)} = 104 \text{ kg}$$

$$H_A^P = -H_D^P = -\frac{P}{2} = -\frac{810}{2} = -405 \text{ kg}$$

$$M_A^P = -M_D^P = -\frac{P h}{2} \times \frac{3 K + 1}{6 K + 1} = -\frac{810 \times 10.5}{2} \times \frac{3 \times 1.26 + 1}{6 \times 1.26 + 1} = -2,374.6 \text{ kg-m}$$

$$M_B^P = -M_C^P = \frac{P h}{2} \times \frac{3 K}{6 K + 1} = \frac{810 \times 10.5}{2} \times \frac{3 \times 1.26}{6 \times 1.26 + 1} = 1,877.9 \text{ kg-m}$$

$$M_X^P = M_B^P - \frac{2 M_D^P}{1} x = 1,877.9 - \frac{2 \times 1,877.9}{36} x = 1,877.9 - 104.3 x$$

3. $\omega_0 = 100 \text{ kg/m}$ 和 $P = 810 \text{ kg}$ 共同作用時

$$V_A = 1,800 + 104 = 1,904 \text{ kg}$$

$$V_D = 1,800 - 104 = 1,696 \text{ kg}$$

$$H_A = 946.5 - 405 = 541.5 \text{ kg}$$

$$H_D = 946.5 + 405 = 1,351.5 \text{ kg}$$

$$M_A = 3,312.9 - 2,374.6 = 938.3 \text{ kg-m}$$

$$M_D = 3,312.9 + 2,374.6 = 5,687.5 \text{ kg-m}$$

$$M_B = -6,625.8 + 1,877.9 = -4,747.9 \text{ kg-m}$$

$$M_C = -6,625.8 - 1,877.9 = -8,503.7 \text{ kg-m}$$

$$M_X = -50 x^2 + 1,800 x - 6,625.8 + 1,877.9 - 104.3 x \\ = -50 x^2 + 1,695.7 x - 4,747.9 \dots\dots\dots (1)$$

4. 横梁 M_{\max}^H 位置确定

$$-100 x + 1,695.7 = 0$$

$$x = 16.957 = 17 \text{ m}$$

5. $M_{\max}^H = -50 \times (17)^2 + 1,695.7 \times 17 - 4,747.9 = 9,629 \text{ kg-m}$

6. 横梁 $M_X = 0$ 位置确定

$$M_X = -50 x^2 + 1,695.7 x - 4,747.9 = 0$$

$$x = \frac{-1,695.7 \pm \sqrt{(1,695.7)^2 - 4 \times 50 \times 4,747.9}}{2 \times (-50)} = 30.8 \text{ m}$$

⇒ 硬橫跨彎矩，剪力圖

見下頁。

④ 鐵柱校核

柱頂彎矩 $M = 8,503.7 \text{ kg-m}$ 地面處彎矩 $M_{地} = 5,687.5 \text{ kg-m}$

剪力 $Q = 1,351.5 \text{ kg}$ 柱頂垂直力 $N = V_D = 1,696 \text{ kg}$

柱底處急垂直力 $N_{地} = V_D + (\text{一側鐵柱，饋電線，PW線尊重})$
 $= 1,696 + 26.4 + 25 + 12.7 + 2 + 847 = 2,609.1 \text{ kg}$

1. 主杆校核

(1) 容許應力

受拉時 $f_K^L = 1,650 \text{ kg/cm}^2$ (查第 17 - 2 表)

受壓時 主杆 $\lambda = \frac{l_0}{r_x} = \frac{0.9 \times 50}{2.30} = 19.6 = 20$

附查附表 21 $f_K^C = 1,521 \text{ kg/cm}^2$

(2) 主杆應力校核

a. 柱頂載面處：

受拉側 $\sigma_L^{\text{地}} = \frac{M_{地}}{2 A e g} - \frac{N_{地}}{4 A}$
 $= \frac{8,503.7 \times 100}{2 \times 7.677 \times 45.88} - \frac{1,696}{4 \times 8.727} = 1,158.6 \text{ kg/cm}^2 < f_K^L$
 $= 1,650 \text{ kg/cm}^2$

受壓側 $\sigma_C^{\text{地}} = \frac{M_{地}}{2 A g} + \frac{N_{地}}{4 A}$
 $= \frac{8,503.7 \times 100}{2 \times 8.727 \times 45.88} + \frac{1,696}{4 \times 8.727} = 1,110.5 \text{ kg/cm}^2 < f_K^C$

b. 地面

受拉側 $\sigma_L^{\text{地}} = \frac{M_{地}}{2 A e g} - \frac{N_{地}}{4 A}$
 $= \frac{5,687.5 \times 100}{2 \times 7.677 \times 45.88} - \frac{2,609.1}{4 \times 8.727} = 732.7 \text{ kg/cm}^2 < f_K^L$
 $= 1,650 \text{ kg/cm}^2$

受壓側 $\sigma_C^{\text{地}} = \frac{M_{地}}{2 A g} + \frac{N_{地}}{4 A}$
 $= \frac{5,687.5 \times 100}{2 \times 8.727 \times 45.88} + \frac{2,609.1}{4 \times 8.727} = 784.2 \text{ kg/cm}^2 < f_K^C$
 $= 1,521 \text{ kg/cm}^2$

3. 斜杆校核

計算剪力 $Q = 1,351.5 \text{ kg}$

(1) 容許応力

受拉時 $f_K^L = 1,650 \text{ kg/cm}^2$ (查第 17 - 2 表)

受圧時 斜杆 $\lambda = \frac{l_0}{r} = \frac{0.8 \times 49}{0.96} = 40.8$

查附表 23 $f_K^C = 1,000 \text{ kg/cm}^2$

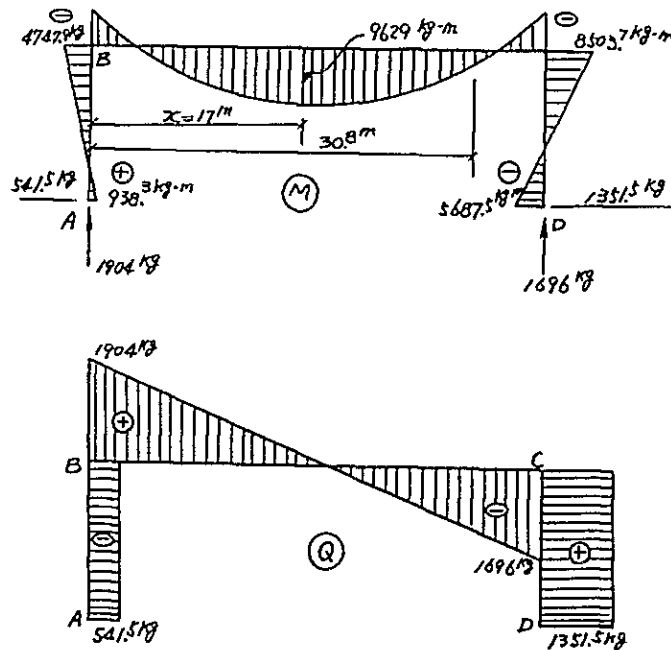
(2) 応力校核

受拉側 $\sigma_L = \frac{Q}{2 A e C Q B} = \frac{1,351.5 \times 49}{2 \times 4.594 \times 42} = 171.6 \text{ kg/cm}^2 < f_K^L$
 $= 1,650 \text{ kg/cm}^2$

受圧側 $\sigma_C = \frac{Q}{2 A e C Q B} = \frac{1,351.5 \times 49}{2 \times 5.644 \times 42} = 139.7 \text{ kg/cm}^2 < f_K^C$
 $= 1,000 \text{ kg/cm}^2$

硬 横 跨 弯 矩 ， 剪 力 图

(風 向 垂 直 線 路 時)



4. 斜杆と主杆連接計算

斜杆軸力 $S = \frac{Q}{2 C_Q B} = \frac{1,351.5 \times 49}{2 \times 42} = 788.4 \text{ kg}$

用 1 个 M 16 螺栓，按軸徑单剪容許剪力 $Q_K = 2,410 \text{ kg} > S = 788.4 \text{ kg}$ (可)

R 6 鋼板, M 16 螺栓時容許擠壓應力 $F_C = 2,426 \text{ kg} > S = 788.4 \text{ kg}$ (可)

5. 主杆と主杆連接計算

$$\text{受拉側 } n_L = \frac{\sigma_L^{\text{地}} \times A_e}{F_S} = \frac{732.7 \times 7.677}{1,670} = 3.37 \text{ (ㄗ)}, \text{ 取 } n_L = 4 \text{ (ㄗ)}$$

$$\text{受壓側 } n_C = \frac{\sigma_C \times A}{F_S} = \frac{784.9 \times 8.277}{1,670} = 4.10 \text{ ㄗ}, \text{ 取 } n_C = 5 \text{ ㄗ}$$

(M 16 螺栓, 按最小直徑, 單剪時容許剪力 $F_S = 1,670 \text{ kg/cm}^2$)

(五) 橫梁校核

1. M_{\max}^H 載面處, 上弦杆校核

(1) 容許應力: 弦杆在豎直平面內彎曲時, $\lambda = \frac{0.9 \times 100}{2.30} = 39.1$

$$\text{弦杆在水平面內彎曲時, } \lambda = \frac{80}{1.47} = 55$$

根據 $\lambda = 55$, 查附表 21, 得 $f_K^C = 1,355 \text{ kg/cm}^2$

(2) 應力校核

$$\begin{aligned} \text{弦杆應力 } \sigma_U &= \frac{M_{\max}^H}{2(a_3 - 2Z_0)A} + \frac{N}{4A} \\ &= \frac{9,629 \times 100}{2(100 - 2 \times 2.06) \times 8.727} + \frac{1,351.5}{4 \times 8.727} \\ &= 614.1 \text{ kg/cm}^2 < f_K^C = 1,355 \text{ kg/cm}^2 \text{ (可)} \end{aligned}$$

2. M_{\max}^H 載面處, 下弦杆校核

$$\text{容許應力 } f_K^L = 1,650 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{弦杆應力 } \sigma_X &= \frac{M_{\max}^H}{2(a_3 - 2Z_0)A_e} - \frac{N}{4A} \\ &= \frac{9,629 \times 100}{2(100 - 2 \times 2.06) \times 7.677} - \frac{1,351.5}{4 \times 8.727} \\ &= 615.4 \text{ kg/cm}^2 < f_K^L = 1,650 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

3. 右側端斜杆 S 12 校核

(1) 容許應力: 端斜杆 $\lambda = \frac{0.8 b_1}{r_v} = \frac{0.8 \times 165.4}{0.96} = 138$

查附表 21, 得 $f_K^C = 499 \text{ kg/cm}^2$

(2) 應力校核 $\sigma_{s_{12}}^C = \frac{Q_{II} \cdot b_1}{2 a_2 \cdot A} + \frac{N(a_1 - a_2) \cdot b_1}{4 r \cdot l_1 \cdot A}$

$$\begin{aligned} &= \frac{1,696 \times 165.4}{2 \times 134.2 \times 5.644} + \frac{1,351.5 \times (160 - 134.2) \times 165.4}{4 \times 154.6 \times 100 \times 5.644} \\ &= 201.7 \text{ kg/cm}^2 < f_K^C = 499 \text{ kg/cm}^2 \text{ (可)} \end{aligned}$$

4. U_3 点处, 跨中一侧斜杆 S_{34} 校核

$$\begin{aligned}
 (1) \quad U_3 \text{ 点, 横梁截面剪力 } Q_3 &= \frac{Q_B - Q_C}{l} (1 - x) + Q_C \\
 &= \frac{1,904 - (-1,696)}{36} \\
 &\quad \times (36 - 2.75) + (-1,696) \\
 &= 1,629 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

U_3 点距梁左側端

$$\begin{aligned}
 \text{距離 } x &= L_2 + 0.5 \\
 &= 2.25 + 0.5 \\
 &= 2.75 \text{ m}
 \end{aligned}$$

(2) 容許应力: 斜杆 S_{34} 的 $\lambda = \frac{0.8 b_4}{r_v} = \frac{0.8 \times 105}{0.96} = 88$

查附表 21, 得 $f_K^C = 1,063 \text{ kg/cm}^2$

(3) 应力校核

$$\sigma_{S_{34}}^C = \frac{Q_3}{2 A C_Q B} = \frac{1,629 \times 105}{2 \times 5.644 \times 92} = 164.7 \text{ kg/cm}^2 < f_K^C = 1,063 \text{ kg/cm}^2$$

5. 弦杆与弦杆连接计算

$$\text{受拉侧 } n_L = \frac{\sigma_X \cdot A_e}{F_S} = \frac{615.4 \times 7.677}{1,670} = 2.83 \text{ 个}, \text{ 取 } n_L = 3 \text{ 个}$$

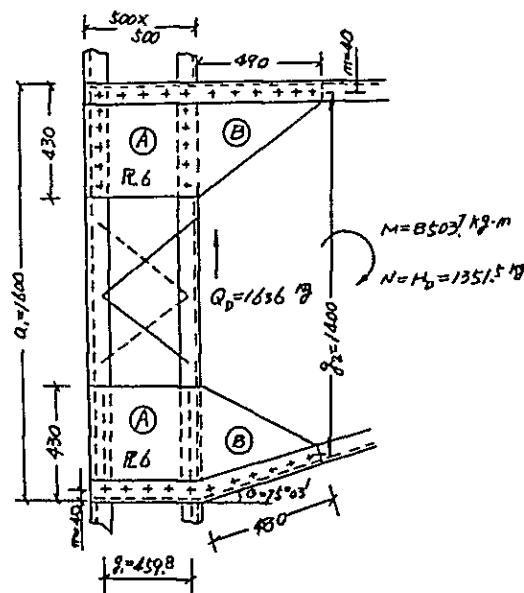
$$\text{受压侧 } n_C = \frac{\sigma_U \cdot A}{F_S} = \frac{614.1 \times 8.727}{1,670} = 3.20 \text{ 个}, \text{ 取 } n_C = 4 \text{ 个}$$

(M 16 螺栓, 按最小直径, 单剪时容许剪力 $F_S = 1,670 \text{ kg/cm}^2$)

6. 斜杆与弦杆连接计算

斜杆轴力较小, 用 1 个 M 16 螺栓可以。

(六) 横梁 铁柱间连接计算



(一) 連接板と横梁連接螺絲計算

計算內力 $M = 8,503.7 \text{ kg-m}$, $N = H_D = 1,351.5 \text{ kg}$

1. 上, 下弦杆螺絲間最小距離 g_2 計算

$$g_2 = a_1 - 2m - 480 \times C_Q Q = 1,600 - 2 \times 40 - 480 \times \cos 75^\circ 03' = 1,400 \text{ mm}$$

2. 螺絲佳選內力 N^L 計算

$$N^L = \frac{M}{2g_2} + \frac{N}{4} = \frac{8,503.7 \times 100}{2 \times 140} + \frac{1,351.5}{4} = 3,375 \text{ kg}$$

3. 需要連接螺絲數 $n = \frac{N^L}{F_S} = \frac{3,375}{1,670} = 2.02$, 取 $n = 3$

4. 擠壓驗算

R 6 鋼板, M 16 螺絲, 容許擠壓應力 $F_C = 2,426 \text{ kg}$

用 3 吋 M 16 螺絲, $3 F_C = 3 \times 2,426 = 7,278 \text{ kg} > N^L = 3,375 \text{ kg}$ (可)

(二) 連接板と鉄柱間連接螺絲計算

計算內力 $M = 8,503.7 \text{ kg-m}$, $N = Q_D = 1,696 \text{ kg}$

鉄柱主杆重心間距離 $g_1 = 50 - 2Z_0 = 50 - 2 \times 2.06 = 45.88 \text{ cm}$

$$N^L = \frac{M}{2g_1} + \frac{N}{4} = \frac{8,503.7 \times 100}{2 \times 45.88} + \frac{1,696}{4} = 9,691.3 \text{ kg}$$

$$\text{需要連接螺絲數 } n = \frac{N^L}{F_S} = \frac{9,691.3}{1,670} = 5.80, \text{ 取 } n = 6$$

擠壓驗算: 鋼板 R 6, M 16 螺絲, 容許擠壓應力 $F_C = 2,426 \text{ kg}$

$6 F_C = 6 \times 2,426 = 14,556 \text{ kg} > N^L = 9,691.3 \text{ kg}$ (可)

八 風向平行線路時計算

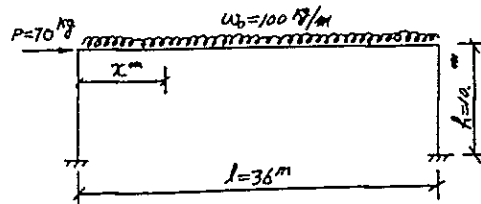
(一) 硬橫跨內力計算

$$\omega_0 = \frac{W}{l} = \frac{3,571.6}{36} = 100 \text{ kg/m}$$

$$P = \frac{\sum M_i}{h} = \frac{737.8}{10.5} = 70 \text{ kg}$$

順線路方向, 風力產生的柱底

$$\text{力矩 } M_y = \frac{\sum M_i}{2} = \frac{13,874.2}{2} = 6,937.6 \text{ kg-m}$$



1. $\omega_0 = 100 \text{ kg/m}$ 作用時

$$V_A^{\omega_0} = V_D^{\omega_0} = \frac{\omega_0 l}{2} = \frac{100 \times 36}{2} = 1,800 \text{ kg}$$

$$H_A^{\omega_0} = H_D^{\omega_0} = \frac{\omega_0 l^2}{4h(K+2)} = \frac{100 \times (36)^2}{4 \times 10.5 \times (1.26 + 2)} = 946.5 \text{ kg}$$

$$M_A^{\omega_0} = M_D^{\omega_0} = \frac{\omega_0 l^2}{12(K+2)} = \frac{100 \times (36)^2}{12 \times (1.26 + 1)} = 3,312.9 \text{ kg-m}$$

$$M_B^{\omega_0} = M_C^{\omega_0} = -2 M_A = -6,625.8 \text{ kg-m}$$

2. $P = 70 \text{ kg}$ 作用時

$$V_A^P = -V_D^P = -\frac{3PhK}{1(6K+1)} = -\frac{3 \times 70 \times 10.5 \times 1.26}{36 \times (6 \times 1.26 + 1)} = -9 \text{ kg}$$

$$H_A^P = -H_D^P = -\frac{P}{2} = -\frac{70}{2} = -35 \text{ kg}$$

$$M_A^P = -M_D^P = -\frac{Ph}{2} \times \frac{3K+1}{6K+1} = -\frac{70 \times 10.5}{2} \times \frac{3 \times 1.26 + 1}{6 \times 1.26 + 1} = -205.2 \text{ kg-m}$$

$$M_B^P = -M_C^P = \frac{Ph}{2} \times \frac{3K}{6K+1} = \frac{70 \times 10.5}{2} \times \frac{3 \times 1.26}{6 \times 1.26 + 1} = 162.2 \text{ kg-m}$$

3. $\omega_0 = 100 \text{ kg/m}$, 和 $P = 70 \text{ kg}$ 共同作用時

$$V_A = 1,800 - 9 = 1,791 \text{ kg} \quad V_D = 1,800 + 9 = 1,809 \text{ kg}$$

$$H_A = 946.5 - 35 = 911.5 \text{ kg} \quad H_D = 946.5 + 35 = 981.5 \text{ kg}$$

$$M_A = 3,312.9 - 205.2 = 3,107.7 \text{ kg-m}$$

$$M_D = 3,312.9 + 205.2 = 3,518.1 \text{ kg-m}$$

$$M_B = -6,625.8 + 162.2 = -6,463.6 \text{ kg-m}$$

$$M_C = -6,625.8 - 162.2 = -6,788.0 \text{ kg-m}$$

□ 鉄柱校核

柱底載面内力： $M_x = M_D = 3,518.1 \text{ kg-m}$

$$M_y = 6,937.6 \text{ kg-m}$$

$N = V_D + (\text{一側鉄柱, 饋電線, PW線尊重})$

$$= 1,809 + 847 + 26.4 + 25 + 12.7 + 2 = 2,722 \text{ kg}$$

容許応力：受拉時 $f_K^L = 1,650 \text{ kg/cm}^2$

$$\text{受圧時 主杆 } \lambda = \frac{0.9 \times 100}{\gamma_x} = \frac{90}{2.30} = 20$$

查附表 21, 得 $f_K^C = 1,521 \text{ kg/cm}^2$

応力校核：受拉側 $\sigma_t = \frac{M_x + M_y}{2gAe} - \frac{N}{4A}$

$$= \frac{(3,518.1 + 6,937.6) \times 100}{2 \times 45.88 \times 7.677} - \frac{2,722}{4 \times 8.727}$$

$$= 1,406.3 \text{ kg/cm}^2 < f_K^L = 1,600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{受压侧 } \sigma_c &= \frac{M_x + M_y}{2 \cdot g \cdot A} + \frac{N}{4 \cdot A} \\
 &= \frac{(3,518.1 + 6,937.6) \times 100}{2 \times 45.88 \times 8.727} + \frac{2,722}{4 \times 8.727} \\
 &= 1,383.7 \text{ kg/cm}^2 < f_K^C = 1,521 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

九 基礎計算

(一) 計算条件

1. 土壤条件

$$\text{地耐力 } q = 30,000 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{容重 } W_E = 1,600 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{安息角 } \theta = 30$$

$$N = 2,800 \text{ kg}$$

$$H = 1,300 \text{ kg}$$

$$M = 8,000 \text{ kg-m}$$

2. 安全系数: $F = 2$

3. 基礎頂面中心处荷載

$$N = 2,722 \div 2,800 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 M &= (3,518.1)^2 + (6,937.6)^2 \\
 &= 7,778.6 \div 8,000 \text{ kg-m}
 \end{aligned}$$

$$H = H_X^2 + H_Y^2$$

$$= H_D + \left(\frac{\sum P_i}{2}\right)^2$$

$$= (981.5)^2 + \left(\frac{1,617.8}{2}\right)^2$$

$$= 1,271.9 \text{ kg}$$

$$\div 1,300 \text{ kg}$$

4. 基礎底面积

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} \times (1.34)^2 = 1.41 \text{ m}^2$$

5. 基礎底面断面系数

$$Z = \frac{\pi}{32} D^3 = \frac{\pi}{32} \times (1.34)^3 = 0.236 \text{ m}^3$$

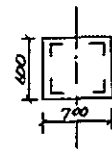
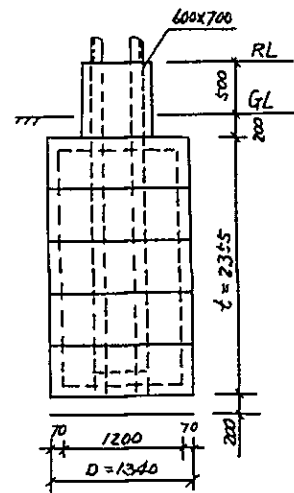
6. 基礎混凝土容重

$$W_H = 2,400 \text{ kg/m}^3$$

(二) 基礎底面中心处, 急垂直荷載W計算:

1. 基礎重量

$$\begin{aligned}
 W_1 &= 2,400 \times \{ (0.7 \times 0.6 \times 0.7) + (1.41 \times 2.355) \} \\
 &= 8,676 \text{ kg}
 \end{aligned}$$



2. 复土重量

$$W_2 = 1,600 \times [1.41 \times 0.2 - (0.7 \times 0.6 \times 0.2)] = 317 \text{ kg}$$

3. 鉄柱传来垂直荷載

$$N = 2,800 \text{ kg}$$

4. 基底急垂直荷載

$$W = W_1 + W_2 + N = 8,676 + 317 + 2,800 = 11,793 \text{ kg}$$

(三) 基礎底部有効支持力

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{P}{F} - \frac{W}{A} \\ &= \frac{30,000}{2} - \frac{11,793}{1.41} = 6,636 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

(四) 基礎底部抗力矩

$$M_B = \sigma_1 Z = 6,636 \times 0.236 = 1,566 \text{ kg-m}$$

(五) 側圧計算

$$M_E = M - M_B = 8,000 - 1,566 = 6,434 \text{ kg-m}$$

$$\begin{aligned} t_m &= \frac{t}{3} + \frac{H \cdot t^2}{36 M_E} \\ &= \frac{2,355}{3} - \frac{1,300 \times (2.365)^2}{36 \times 6,434} = 0.754 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_m &= \frac{t_m}{D t^3} \times (12 M_E + H \cdot t) \\ &= \frac{0.754}{1.34 \times (2.355)^3} \times (12 \times 6,434 + 1,300 \times 2.355) = 3,458 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_b = \frac{12 M_E - 2 H \cdot t}{D t^2} = \frac{12 \times 6,434 - 2 \times 1,300 \times 2.355}{1.34 \times (2.355)^2} = 9,565 \text{ kg/m}^2$$

(六) 被幼土圧計算

$$\begin{aligned} P_m &= W_E \cdot t_m \cdot \left(\frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} \right) \\ &= 1,600 \times 0.254 \times \left(\frac{1 + \sin 30^\circ}{1 - \sin 30^\circ} \right) = 3,619 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_b &= W_E \cdot t \cdot \left(\frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} \right) \\ &= 1,600 \times 2.355 \times \left(\frac{1 + \sin 30^\circ}{1 - \sin 30^\circ} \right) = 11,304 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

(七) 応力校核

$$\frac{P_m}{\sigma_m} = \frac{3,619}{3,458} = 1.05 > 1 \text{ (可)} \quad \frac{P_b}{P_b} = \frac{11,304}{9,565} = 1.18 > 1 \text{ (可)}$$