

鐵路勘測設計技術資料

鐵路選綫問題的研究

鐵道部第一設計院編

——理論與實際問題——

人民鐵道出版社

本書彙集了鐵道部第一設計院測繪處編寫的四篇研究選綫工作的文章，可供鐵路設計工作人員參考。



鐵路勘测設計技術資料

鐵路選綫問題的研究

鐵道部第一設計院編

人民鐵道出版社出版

(北京市政公府17號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第010號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印

書號1449 開本787×1032 1/32 印張1 1/2 字數25千

1959年7月第1版

1959年7月第1版第1次印刷

印數0,001—850冊

統一書號：15043·1006 定價(7)0.09元

目 录

一、三門峽水庫鐵路专用綫选綫·····	1
二、困难展綫与自由导綫毗連地段选綫·····	11
三、水庫岸边选綫·····	17
四、黃土丘陵沟壑区选綫·····	26

一、三門峽水庫鐵路專用綫選綫

三門峽水庫鐵路專用綫白隴海綫之會興站起至壩頭長僅16公里，但由於地形地質複雜，技術上存在很多問題。綫路大部通過第四紀黃土，厚度在30~80公尺以上，設計意見圖中提出兩個方案，一為南綫方案，即躲避水庫水頭影響區域採取大繞綫方案，一為北綫方案，即距黃河較近橫跨通向黃河的六道黃土浸水深溝的方案，56年開始時曾在北綫基礎上進行初測、初步設計並開始定測。由於水庫水位提高、專用綫性質以及黃土沉降等問題而放棄，另行設計臨時便綫，先行通車。

今年該專用綫的性質、三門峽地區隴海改建原則及水庫正常高水位等均明確後，再次進行該永久專用綫的勘測設計任務，在我院地質專家杜達也夫同志大力協助指導下，仍採用了北綫方案進行施工設計。據施工設計的概算數字全長16公里工程造價1,700萬元，而南綫方案估計過綫路全長25公里，造價約為3,300萬元，由此可見三門峽永久鐵路專用綫在解決了新建水庫黃土地區鐵路建築上的技術問題後，給國家節約大量資金。當前祖國經濟建設突飛猛進，無數大小型水電站，以及農業灌溉水壩沿河林立，我們鐵路勘測設計人員能正確地解決新建水庫地區鐵路選綫問題更具有現實的意義。

1. 三門峽水庫鐵路專用綫在黃土地區 選綫上的重大技術問題

如上所述，三門峽水庫專用綫最後是採用靠近黃河，跨過流向黃河的六條深溝的方案而進行選綫的，當然採用這個

方案，首先对黃土地区因新建水庫灌水以后而引起的坍岸，以及綫路跨过黃土深沟、桥隧建筑物、路基受水浸湿的沉降等关键問題要有正确認識。因为只有了解到坍岸地带寬度，才能正确的选择綫路位置，同时只有了解黃土沉降性对大型建筑物的影响，才能在設計綫路平剖面时考虑穿过六条深沟的設計問題。

(1) 坍岸問題

新建水庫坍岸問題到現在为止，还摸索得不够，由于这是一个复杂而綜合性的問題，我国当前缺少資料，在苏联也由于已建水庫为期都很短，对于坍岸的速度，水下边坡角（岸滩傾角）及水庫內的淤积性質，目前尚未总结出来，据了解，苏联1954年建成的齐姆良水庫，并不高，三年观测結果，坍岸很剧烈，每一延长公里十万方土，但建成已久的雷宾水庫的坍岸情况比齐姆良水庫就小得多，关于这个問題需要作进一步的研究和观测。在三門峽永久专用綫上仅对以下問題作了些探討。

① 坍岸的成因：

新建水庫灌水以后，会馬上引起坍岸，其主要因素是风浪，尤其是狂风駭浪在一两天內所造成的坍岸会比普通波浪几年造成的破坏还大，其它因素尚有水庫水位的漲落，水流的影响，水激起或退落的現象，冰的作用以及庫岸土壤的浸湿，此外还取决于庫岸的岩层，水庫岸边的断面（陡岸或緩岸）以及庫岸上植物的种类。

② 再造庫岸的範圍（坍岸綫的預測）：

我們对于水庫岸边的再造作用，是按照苏联 E·Γ·卡楚金預期的岸坡剖面方法进行考虑的，如图一。

h_m ——振幅向上可达到浪的冲高；

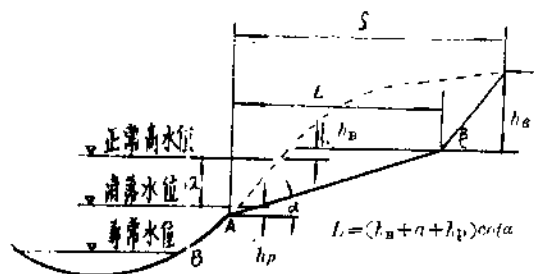


图 一

h_p ——最低水位以下波浪冲刷作用所波及到的深度
 正常高水位——水库洪峰期间的最大水位（不超过水库设计的洪水周期）。

在三门峡应将水库壅前正常高水位60公尺另加迴水高消落水位的——水电站最低的工作水位。

在三门峡应将水库壅前消落水位 335 公尺另加迴水高 α ——岸滩倾角（即小阶地倾斜角）。

β ——水上坡角（即小阶地上方土壤的自然倾角）

〔注：根据国家规定三门峡水库蓄水逐年提高的情况，与三门峡工程局协议，在三门峡水库专用线考虑明岸问题上，实际采用壅前正常高水位为 350 公尺，壅前消落水位为 325 公尺。〕

这里可能要提出这样一个问题：水库未建以前，河流有个寻常水位（即多年平均水位）与岸边相交 B 点，为什么画 α 角时取自 A 点而不取自 B 点呢？我们认为当新建水库开始蓄水以后水位会很快提高，水库水位涨落的幅度是仅在 α 的范围以内，即在正常高水位至消落水位之间，A 点以下成为静水（即有流速也不会大），不会受风浪袭击，因此形成小阶地的范围也只在正常高水位与消落水位之间。当然 A 点以下的土壤受水浸泡，会产生滑动达到水下稳定坡角为止，这可以假想由于 A 点以上土壤的下滑形成水下边坡的稳定，而

保持 A 点不动（事实上 A 点是会向两边有所移动）。因此預期坍岸的寬度即為 $S = L + h_0 \cot \alpha$

这里 α 角的选定对于坍岸寬度是有很大影响的，其主要应根据岩石种类及波浪高决定，并从观测資料取得。根据已有資料在苏联雷宾水庫，砾石土壤 $\alpha = 12^\circ$ ，粘土 $\alpha = 2^\circ$ ，苏联資料黃土質土壤 $\alpha = 3^\circ \sim 6^\circ$ 。我院在三門峽永久专用綫上 α 角根据专家建議采用 4° ，又根据苏联国家水文研究院关于三門峽水利樞紐工程铁路专用綫坍岸初步結論，水上部份的稳定边坡采用 $1:1$ 即 $\beta = 45^\circ$ 。

以上所談坍岸寬度是預測坍岸的最后阶段的寬度，根据若干資料証明，坍岸速度在水庫建成后最初的年代中較剧烈，以后逐年趋于緩慢，根据苏联国家水文研究院关于三門峽水利樞紐工程铁路专用綫坍岸初步結論，曾經預測在十年內岸边綫向河岸側移动 $50 \sim 60$ 公尺，經過 25 年岸边綫将移动 $125 \sim 140$ 公尺，50 年后将近 200 公尺，以后水庫岸边将繼續移动，其移动程度并逐年遞減，最后为 $500 \sim 600$ 公尺。因此我們應該注意到铁路选綫时要結合铁路的使用年限以經濟比較来确定使用那一种年代的坍岸范围。

③ 支沟浸水后的变形問題：

三門峽永久专用綫橫跨通向黃河的深沟共六条，沟底标高在 $322 \sim 347$ 公尺之間，綫路設計标高距沟底标高 $40 \sim 60$ 公尺，沟寬 $100 \sim 200$ 余公尺，这样的浸水情况應該如何来估計它呢？根据以上坍岸成因推断，坍岸的由来是由于波浪冲击，而在此狹长的深沟中虽有浸水，但是风小不会产生波浪，即使有波浪也是很小的，它不能与黃河庫岸（水壩建成后，事实上水壩上游形成了一个湖泊）一样来考虑，也就无坍岸可言，只能是由于水位提高以后，沟壁变形产生滑动現象，同时由于两壁的坍塌，沟底也就会抬高，假若采用高壩

路堤跨越深沟，支撑沟壁两岸，对于深沟两侧的路堑或隧道稳定都是有利的。

(2) 黃土沉降性問題

在三門峽水庫专用綫选定北綫方案的同时，对于黃土的沉降性也是必須事先有个正确認識，因为当綫路跨过黃土浸水深沟，不能采用高桥形式，以采用高填路堤对于稳定有利。但是这样涵管势必設于黃土路堤中間 360 公尺标高处，形成綫路左右側經常浸水的情况，那么黃土路堤是否会产生下沉而损坏呢？沟壁两岸綫路的路堑或隧道是否也会因黃土的沉降性而发生变形，导致毁坏呢？这都是需要进一步研究的問題。我院亦将通过三門峽水庫专用綫的設計以及今后施工及运营期間的观测来搜集更可靠的資料。目前根据所掌握的資料，以及苏联建設中的实例，得出以下的推断。

① 黃土有随深度增加而沉降量逐渐减少的特性

地 点	土 样 深 度	相对下沉系数
1、苏联資料	来自表层	3.6%
2、三門峽資料93号鑽孔	深5.7M	7.5%
63号 ”	” 10M	0.5%
60号 ”	” 12M	0.4%
3、龍海綫改建 2号鑽孔	—	0.2~2%
1号 ”	深70M	0.1~1%

根据以上为数不多的資料，与黃土随深度增加而沉降量减少的結論联系起来，在15公尺以下沒有大的沉降数字，因此当隧道位于地表15公尺以下时，可以说隧道范围不是沉降性黃土。

② 关于修建黃土浸水路堤可能性的問題

利用黃土来修筑水壩，在我国与苏联也曾有过实例，黃土一般的代表特征是成分为粉土粒，孔隙度很大，浸水后它的性質发生驟然变化，致完全破坏。因此在用黃土修筑路堤时，能在施工过程中破坏它的結構（物理性質），也就改变了它的特征。苏联某科学院，曾把黃土当作沙粘土一样来筑路基，根据我院地質专家杜达也夫同志介紹苏联在地嘉伯河彼得洛夫斯基城对岸，修了一段长 300 多公尺，高 25~26 公尺的黃土路堤，浸水深 24 公尺，路堤上有电车道，从修建那天起到现在就进行观察，結果情况很好。修这段路堤时水下边坡用 1 : 2，施工时加水打夯。除了这里以外还有許多地方也用黃土修了路堤，其中有些是用干黃土夯实而未加水，据观察証明情况很好。但是也有个别路堤經調查証明，用干黃土填筑时，施工不善，以后路堤形成水囊而导致路堤損毀。

此外，在高填路堤上設置涵管，也可以同样是稳定的，只要达到夯实程度，同时我們还可以預料到水庫蓄水以后，深沟形状将会变更，两壁坍塌后沟底就会抬高，路堤两旁又淤积些，这样对路基稳定更有利，沟越窄則越有利。

③ 关于隧道沉降問題

根据以上所述黃土在地表以下 15 公尺就是非沉降的推断，隧道标高只要低于地表在 15 公尺以上时，即位于非沉降性黃土中。但是这个推断尚需在勘测过程中，进一步来証实它的正确性。根据专家介紹即使隧道埋藏在沉降性黃土中，只要隧道标高以下尚有 15 公尺高出最高水位，隧道的位置也是沒有危险的。假若勘测結果証明隧道位置确实位于非沉降性黃土中，綫路标高尚可根据工程情况放在恰当标高位置（即不一定要高出 15 公尺）。

在考慮隧道是否因本身重量而使黃土沉降問題上，我們認為由於隧道不受水浸厚度在15公尺以上，部分土壤受水浸飽和后承載力減小，但山体與隧道已成整體，因而承載力降低的影響是微乎其微。

此外假若深溝兩側並非隧道而系路塹，並且勘測証實系沉降性黃土時，我們認為路基面只要高出地下水位一個毛細管作用的高度即行。並不需象隧道一樣相距15公尺。

2. 選綫中平剖面的設計

上節所談新建水庫地區黃土坍岸以及沉降性問題，當然是最複雜困難問題之一，但是在新建水庫地區進行選綫工作應該具有一定的認識，始可在選綫過程中不致盲目採用完全躲避水庫作用範圍內的綫路位置，而採用大繞綫方案。同時對於黃土沉降程度估計不足，或對危險性估計過高，也是不恰當的。

三門峽水庫專用綫施工設計，在對黃土地區的選綫就是根據上述分析着手進行的。

(1) 搜集資料

我院在三門峽地區以往工作中掌握了大面積 $\frac{1}{10,000}$ 平面圖、帶狀的 $\frac{1}{2,000}$ 平面圖、地質平面圖以及綫路地質縱斷面，並且連系了黃河三門峽工程局，得到部分對黃土坍岸、沉降的數據、水文及氣象資料，並且在黃土沉降方面，又向第三、四設計院搜集了部分原始鑽孔資料。

(2) 紙上定綫工作

①根據三門峽水利樞紐壩前正常高水位 360 公尺(標高)

在面积平面图上圈出水庫淹沒界限。事实在水庫上游尚有迴水高度，迴水曲綫的繪制，包括因素也很复杂。根据三門峽工程局提出水面坡度約为万分之二。（注：我們考虑正常高水位，仅出于洪峰期間，为期不长，且三門峽水壩正常高水位頻率為 0.1%，故在繪制淹沒界限、坍岸範圍以及路基、桥涵設計中均未加迴水高度）。

② 選擇有代表性垂直庫岸的地質橫断面，按卡楚金預期的岸坡坡面剖面方法，分別繪出坍岸寬度 S ，再逐一放在大面积平面图上，連成坍岸綫。

③ 根据地形起伏，將綫路定在淹沒界限及坍岸綫以外，在条件許可又不增加工程量情况下，应远离坍岸綫，但靠近坍岸綫而能节省工程时，也可在坍岸邊緣。因为按卡楚金的預期坍岸是在最后阶段的範圍，假若綫路走在坍岸範圍以內而能节省大量工程时，也可以考虑后期防护措施，进行經濟比較。在三門峽永久专用綫設計上，大部份綫路是置于坍岸綫以外的。

（3）外业选綫工作

选綫工作除按照一般方法及步骤外，应注意下列各点：

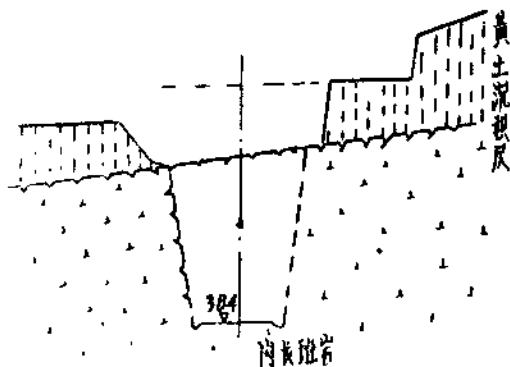
① 当綫路橫跨六条浸水深沟时，采取正交方式，这样不仅可縮短高填距离，尤其重要是将来水位升高以后沟壁会发生变形，正交时接触面小，同时深沟采用高填路堤，正交时对两岸綫路或隧道起着支撑作用，对稳定性有利。

② 三門峽永久专用綫穿过六条深沟割切的台地，地勢形成一个深沟隔着一个台地的形式。选綫时应避免沿深沟进行展綫，这是因为水位升高以后两壁产生变形时，如綫路沿深沟展綫，無論对路堑或隧道均会遭受损坏，尤其隧道平行深沟情况更为恶劣。

③在縱斷面的設計上，路肩設計标高均应高出水庫正常高水位，另加迴水高度及波浪高。在浸水深沟兩側設計为隧道时，应視黃土沉降性来定路肩設計标高；为沉降性黃土时，設計标高应高出正常高水位15公尺；为非沉降性黃土时，可以不受15公尺限制，而定在适当的位置。至于挖方为路塹时，設計标高只要高于正常高水位一个毛細管作用的高度即可。

在三門峽水庫专用綫施工設計中，由于黃土沉降性的試驗時間落后于选綫工作，同时設計标高依据地形也沒有降低的必要，因此隧道标高均定在高于正常水位15公尺以上。

④当綫路位于坚硬岩石时就沒有坍岸与沉降問題，因此設計标高只要定在正常高水位另加迴水高及波浪高即可。



图二

在三門峽水庫专用綫接近壩头一段綫路，距离水庫岸边較近，有一部分路基面位于基本岩层上，就按上述原則决定平剖面，但是也有一部分綫路位于黃土质土壤上，黃土质土壤以下为基本岩层。参照苏联列宁格勒水电設計院对三門峽水利樞紐壩址附近鉄路专用綫初步設計的形式决定了綫路平面位置与設計标高。如图三。

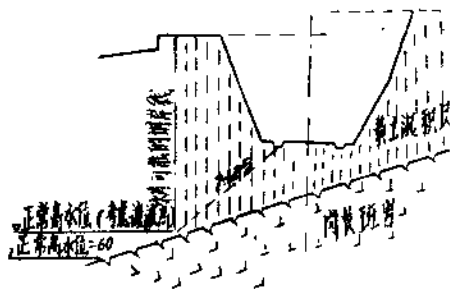


图 三

上图采用了 1:1.25 的坡度，是考虑在黄土沉积层被库水波浪冲击沿水库可能的坍岸线坍塌以后而确定的，黄土以 1:1.25 的坡度尚可稳定。至于黄土沉积层沿基岩的滑动问题，当然也要另作检标。

这里应该提出，在这样地点选线应与地质工作紧密结合，有了地质横断面，才能定出经济合理的线路位置。

⑤ 另外，在浸水路堤上设计涵管，计算流量时，应该考虑上游蓄水的影响。例如在三门峡水库专用线上有一条沟按原沟底设涵时， $Q_{50} = 102$ 立公方/秒，需设置 2 孔 4.00 拱涵，当涵管设置在路堤 360 公尺标高时，由于考虑沟上游蓄水情况 $Q_{50} = 14.1$ 立公方/秒，只需设置 2 孔 2.00 圆涵，这样通过正确计算，不但可以减少建筑物的投资，并且更正确的减小了基础承载压力，从而使高填路堤的施工要求达到可能与合理。

3. 结 语

三门峡水库专用线施工设计，在新建水库黄土地区的选线情况，就是按照上述原则及步骤进行的。然而从三门峡水库专用线与国家干线或其他专用线在铁路运输性质上来看，

还具有其他的特点。首先它是属于一条专用綫，并且其运输任务主要在水壩施工期，是时水庫正常高水位按国家规定尚不得超过 40 公尺标高，此后专用綫运输任务即驟減，水庫正常高水位日后依据国家需要逐步抬高时，它对綫路的影响，尚可有一定时间进行观测，即使损坏也有足够时间进行处理。由于三門峽水庫专用綫是按照上述原则进行設計的第一条铁路，故在今后仍应繼續进行更細致的科学研究工作。

二、困难展綫与自由导綫 毗連地段选綫

在铁路选綫中，困难展綫地段和自由导綫地段选取綫路的条件是有本质区别的，在困难展綫地段选綫的基本要求是充分利用最大的容許坡度以获取需要的綫路理論长度，在该地段内非特殊情况不容許有高度的损失，因此在現地引綫或室內定綫时，基本上是依照預先拟定的理論縱断面来进行选择，符合这种縱断面的地图高度，一般情况下能满足要求的綫路方案可能不止一个，主要随着具体的地形条件而有不同的引綫方式。在自由导綫地段选綫的原则是尽可能使綫路接近捷徑方向，以求得綫路脱离其捷徑方向而繞道，或通过外形障碍物的合理性，主要问题是保証綫路的最短长度，所以困难展綫与自由导綫毗連地段的选綫問題，既要符合困难展綫地段的要求，也要滿足自由导綫地段的需要，二者不可偏廢，这样选綫的成果方能达到經濟合理。

在多数情况下，路綫基本上是由困难展綫地段来决定的。因为在自由导綫地段内，以最近的障碍物（或控制点）引向困难展綫地段的綫路，差不多可以沿很多方向来敷設，而没有太大困难。但是困难展綫地段内路綫，在頗大程度上

要由利用一定的壩口、山坡側向峽谷、山谷以及其他等等具体条件来决定。在这种情况下，困难展綫地段引綫到自由导綫地段的联接点，一般控制了自由导綫地段綫路的方向，否則困难展綫地段內路綫如有大的更动，将会引起工程量的巨大增加。但这决不等于說在任何条件下自由导綫地段的綫路方向必須服从于困难展綫地段，相反，如果困难展綫地段內采綫較為自由，不受某些具体地形条件的严格限制，綫路具有多种多样的引綫方式，那末自由导綫地段引向困难展綫地段的捷徑方向将起着控制的作用，也就是困难展綫地段与自由导綫地段的理想联接点对决定路綫最短长度具有重大意义。

在現地引綫或室內定綫时，照例应从困难展綫地段开始从上到下引綫，因为在困难展綫地段內要通过的壩口的位置是固定的。从自由导綫向困难展綫地段由下往上引綫时，很难确定开始展綫的起点，同时远不能保証綫路順利地通过預先拟定的壩口，不是展綫过多无謂增长綫路，就是展綫不足，引起壩口深挖方或隧道的增长。如果从上往下引綫就可以灵活地适应地形，充分利用容許坡度，同时較能准确地心中有数地掌握前段情况，順利地下到自由导綫。

在选綫实践中，有很多成功和失敗的經驗教訓，說明了以上的問題。我們試看下面的两个例子：

1. 兰新綫玉哈段星星峽至烟塢一段路綫，属于自由导綫与困难展綫毗連地区，星星峽的三道岭出山口处坡度急陡（平均自然坡30%左右，限制坡度草測阶段为12%），需要大量展綫，烟塢以东戈壁灘內有一段自由导綫地段。

最初选綫时由于对全段情况了解不够，在爭取靠近航綫方向的思想支配下，采取了从烟塢取短直方向引向三道岭（应特別說明的是由下往上引綫），由于迁就航綫方向，綫路未

能及早起坡，在展綫地段坡度也未用足，并且个别地区甚至反出逆坡，使得路綫在靠近山口段落內不得不以大量展綫来克服預定的高度，結果形成路綫大量增长曲折不順。

为了改善这种选綫质量低劣的情况，作了北测的改善方案（Ⅱ方案）新綫較原綫（Ⅰ方案）縮短路綫11公里，主要特点在于在困难展綫地段用足坡度爭取了127公尺的高度。

但Ⅱ綫在困难展綫地段內仍然沒有全部用足坡度，損失高度23公尺，并且下至自由导綫联接点时，偏离航綫較远，形成联接点至自由导綫地段之近側控制点脱离捷徑方向，因而使得路綫仍未达到理想的最短长度，故又作了南側Ⅱ。綫的新方案。为在困难展綫地段全部用足了坡度，并且展綫起坡点（自由导綫与困难展綫地点的联接点）距自由导綫地段的近側控制点較近，爭取了捷徑方向，因此綫路較Ⅱ綫縮短4公里。

綫路平面情况如图一：

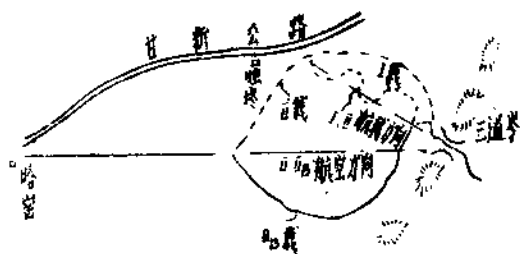


图 一

2. 兰青綫德令哈至諾羌段草测时，冷湖到郭博梁一段綫路也是同样的情况，郭博梁分水岭到昆台湖間航距12公里，高差210公尺，平均自然坡度17%，限制坡度为12%，因此属于困难展綫地段，从昆台湖西端直到冷湖是极平坦的自由导綫地区。

最初选綫系以东南方向深梁陡坡直下，待下至困难展綫

地段与自由导綫地段之联接点时，发现該点偏离航綫方向太远，从該点直趋冷湖区段站控制点脱离了捷徑方向，形成綫路增长，根据室內研究計算的結果，如昆台湖岸之困难展綫地段与自由导綫地段的联接点位于鄂博梁壩口控制点与冷湖区段站控制点之航綫方向时，由于在自由导綫地段內爭取了捷徑方向，至少可縮短路綫长度 3 公里。

結合該段困难展綫地段引綫較為自由之有利条件，除鄂博梁壩口为固定的控制点外，从分水岭到昆台湖岸，路綫可以用多种多样的方式进行引綫，而无大的差別（除不同的曲綫折減对路綫长度略有影响外——但影响不大各种方式引綫都能用足坡度，故困难展綫地段各綫长度几无差別工程大小也很近似）。因此，根据自由导綫捷徑方向的要求，重新选了新的改善方案。

在室內定綫阶段根据具体的地形条件，又发现困难展綫地段与自由导綫地段的联接点位于鄂博梁壩口控制点与冷湖区段站控制点之航綫方向时，还不是最短的捷徑方向，仍将形成綫的增长，因此又按照具体条件选择了新的理想联系点，找到了最短的捷徑方向，新綫（ AD_1 ）的綫路长度較原綫（ AD ）縮短了 5.3 公里。

綫路平面情况如图二：

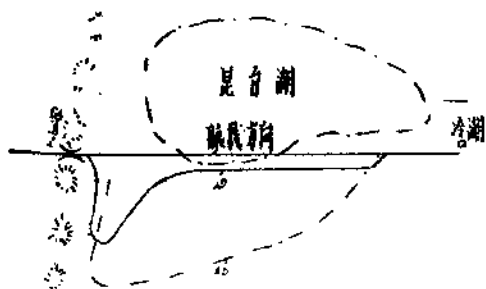


图 二