

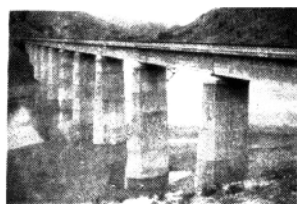
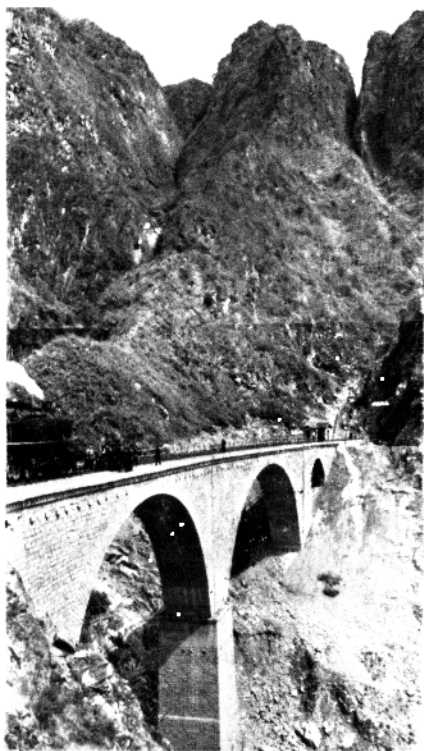
宝成铁路修建技术专题总结

桥涵工程

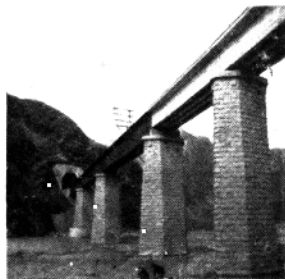
铁道部宝成铁路修建总结委员会编



人民铁道出版社



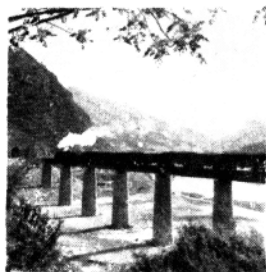
1. 清河大桥 ↑



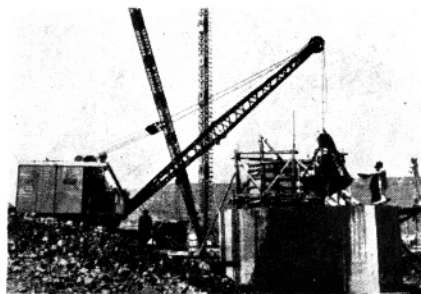
2. 白水江大桥 ↑

← 3. 松树坡大石拱桥

↓ 5. 安乐河大桥

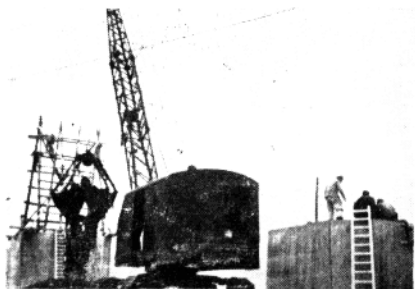


4. 沉井基础不抽水机械开挖下沉 ↓

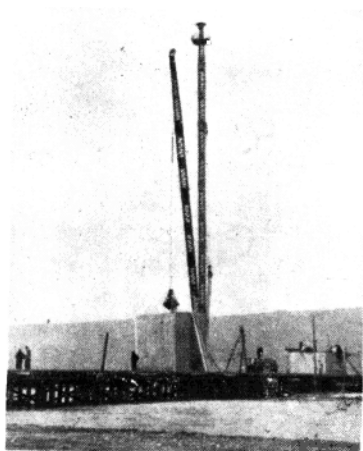




6. 沉井内抽水 ↑

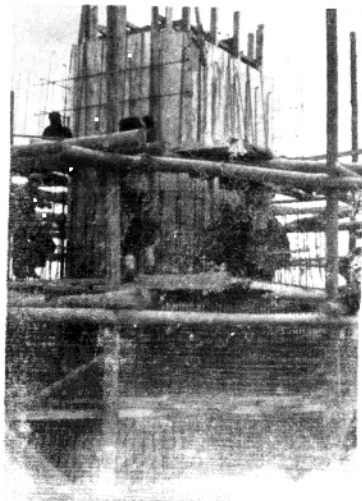


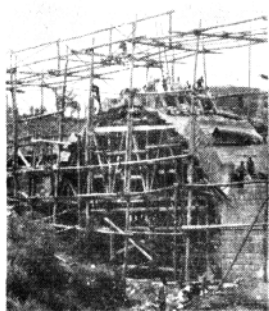
7. 挖土斗抓取沉井中泥土 ↑



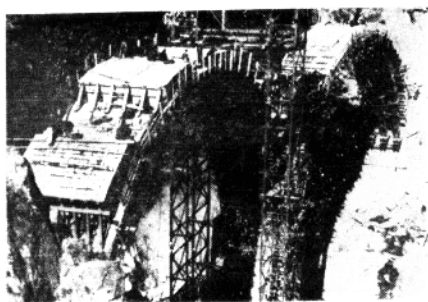
8. 施工便桥及使用德立克扒桿吊
挖土斗抓取沉井中的泥土 ↑

9. 绑扎沉井钢筋 ↓

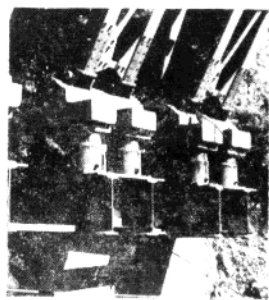




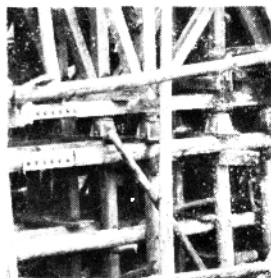
↑ 10. 有中間掛架的木拱架砌拱情況



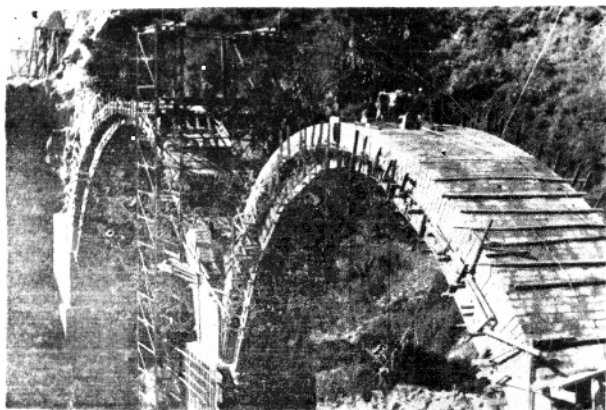
11. 38公尺跨度石拱的分段砌筑



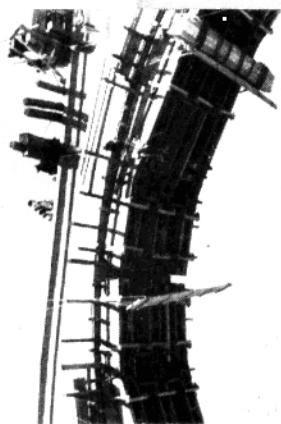
13. 鋼拱架的拱腳設備



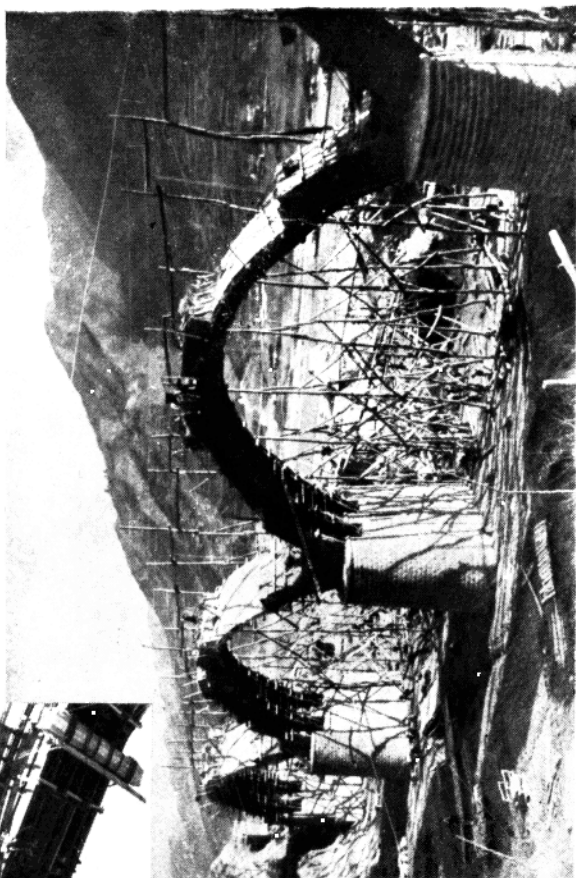
12. 木拱架的沙筒 ↓



← 14. 天綫運石砌拱圈即將完成



← 15. 安設鋼拱架的拆除設備



16. 兩排鋼拱架的拱圈 →
砌筑



17. 完成了沉井下沉工序

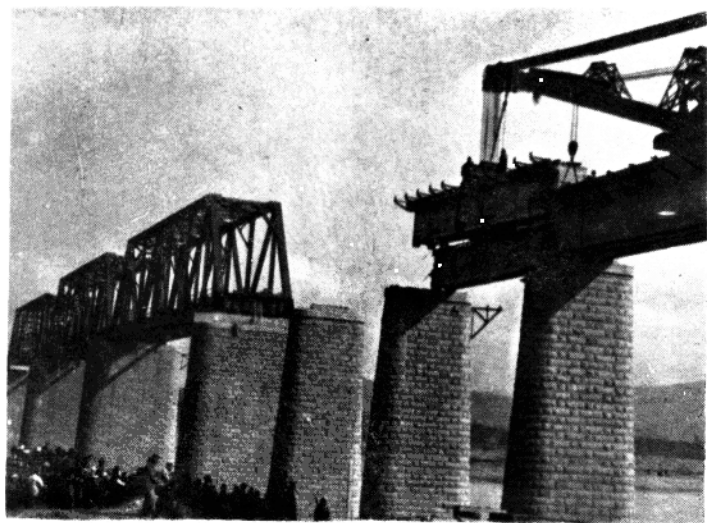


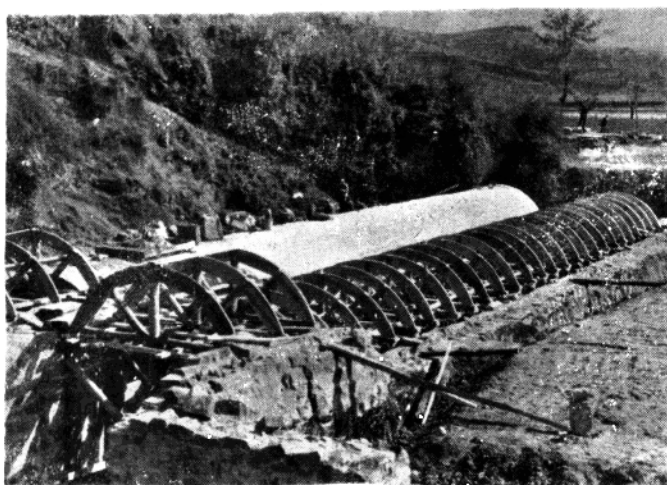
18. 架桥机架設钢筋混凝土T形梁 ↑

19. 白水河大桥的穿式桁梁采用就地拼装在吊
装杆件 →

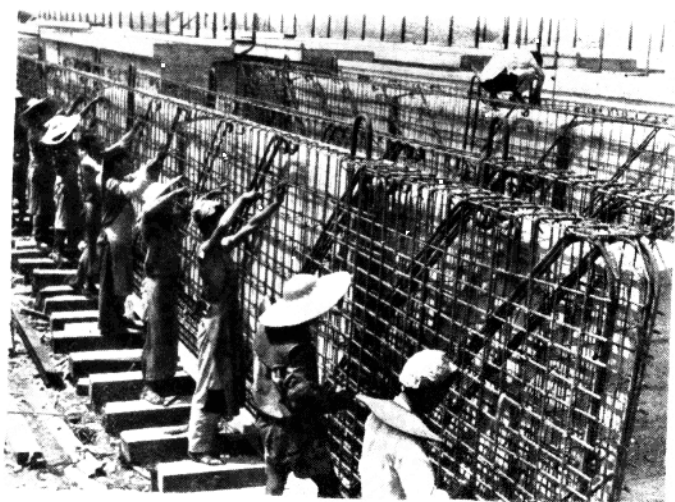


20. 鋪軌时架設T形梁 ↓

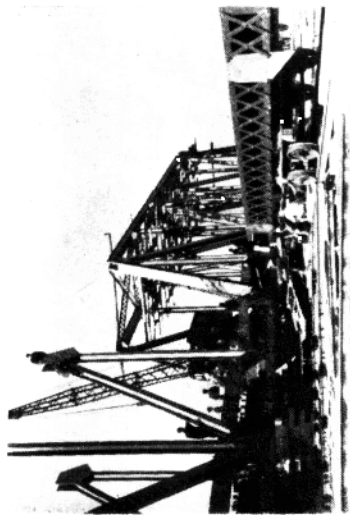




↑ 21. 分节砌筑双孔石拱涵

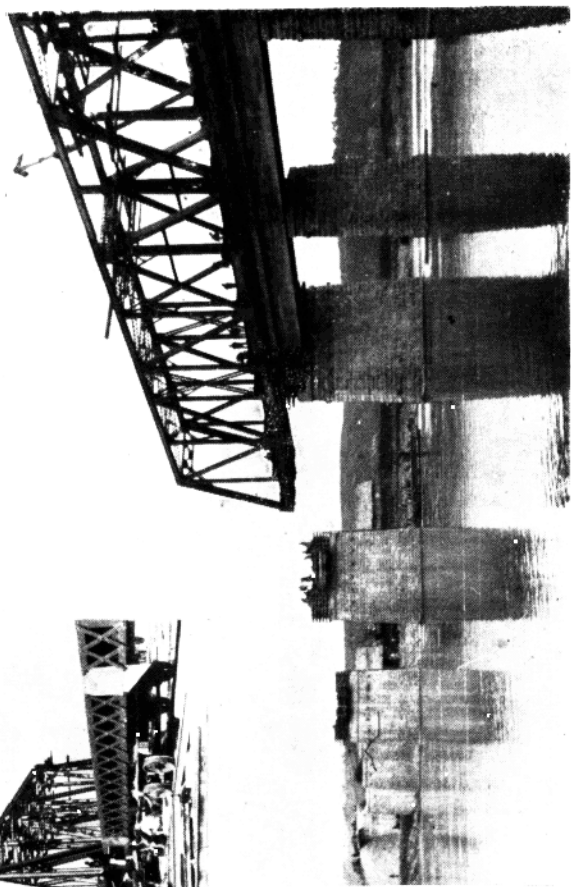


↑ 22. 厂制钢筋混凝土T形梁在绑扎钢筋



21. 采用连接悬臂拖拉法
架设中的清江大桥

23. 两孔穿式钢桁梁采用连接悬臂拖拉法架设在桥头排架



目 录

一、概况	
二、石拱桥的修建	
(一)拱石规格及生产	(9)
(二)放样的经验	(11)
(三)鋼拱架的安裝与拆除	(14)
(四)拱架上部木結構的制作与安裝	(20)
(五)拱圈砌筑	(22)
(六)拱圈开裂的原因与补救办法	(34)
三、桥涵基础工程的三种施工方法	
(一)更換基底上壤的初步經驗	(41)
(二)試用压注水泥漿膠結沙夾卵石的基礎	(51)
(三)沉井基础的施工	(59)
四、架桥工程經驗	
(一)架桥工程概况	(67)
(二)机具配备	(68)
(三)劳动組織	(69)
(四)桥头布置及线路准备工作	(69)
(五)架梁	(70)
(六)移梁与落梁	(75)
五、从安昌江大桥設計中得到的教訓	
(一)安昌江自然地理与桥址河段情形	(76)
(二)勘测設計經過	(76)
(三)建桥后水害及防护情况	(77)
(四)存在問題及經驗教訓	(78)

一. 概 况

宝成铁路北端宝鸡市，在渭河北岸，铁路线即在宝鸡市区跨过渭河，沿清姜河迂迤而上秦岭。秦岭为全线最高点，距宝鸡市 31 公里（公路里程），海拔约 1500 公尺；论水系，以秦岭东西向主脉为界，以北属于黄河支流的渭河中游支流清姜河山谷，以南由秦岭至广元属于长江支流的嘉陵江上、中游河谷。线路由广元跨白水河至昭化，沿嘉陵江支流清江，翻过会龙场分水岭而至马角坝，就离嘉陵江中流而进入其支流涪江流域，再沿涪江支流石渠河水磨河及涪江左岸而下，跨越涪江而至绵阳；由绵阳，再跨过涪江一部分支流及沱江上游诸源流，最后跨过川西灌溉区而至成都。

全线以有关桥涵建筑的地形特征来区分，大致可划分如下：渭河大桥以南起，沿清姜河谷至秦岭为一段，由于展线争取高度的关系，线路多急弯陡坡，且位于陡峻的山坡上，桥涵跨越的大部是干沟，基底一般情况良好，但沟深桥高，同时沟底陡狭，山洪夹泥石而下，是这一段桥涵设计中必须考虑的特征。由秦岭沿嘉陵江上游河谷至略阳为一段，由略阳至广元为又一段，这两段线路沿嘉陵江南下，在上游 14 次跨过嘉陵江主流，往下则河谷较宽，跨越嘉陵江仅有 2 次。绝大部分桥涵跨过的是江的支流，水位多受主流倒灌的影响，河底淤积情况较复杂，但河道一般是稳定的。由广元至绵阳为一段，大致属于丘陵地带，河谷较宽广，河道稳定，岩层埋藏较浅。由绵阳至成都为一段，属于平坦地区，线路跨越很多河流，大多河床多淤，河道极不稳定，沿河堤堰多，农田灌溉发达；渠道纵横，河底多是卵石夹沙，最深达十余公尺。

桥梁建筑，为了节约钢材和推广机械化工厂化施工方法，主要采用了厂制的钢筋混凝土 T 形梁。但施工时期，预应力钢筋混凝土 T 形梁尚未试制，最大跨度的钢筋混凝土 T 形梁仅 16 公尺，在桥下通过流量大，并带有大量漂浮物时，为了利于宣洩，避免局部巨大淤积和冲刷，要求跨度较大时，24 公尺以上的跨度都采用了钢梁。根据就地取材的方针，在桥涵建筑中用了大量砌石圬工，在基底条件优良，就地生产量多质优的石料可资利用时，也采用了大跨度石拱桥，这是在宝成铁路采用的一种坚固美观的桥梁型式。小桥以钢筋混凝土的 T 梁和板梁为主，其次为石拱桥。涵渠以石拱为主，次之为混凝土拱，并有钢筋混凝土圆管及明渠。各段桥涵分布情况及不同类型的采用情况统计如表 1，全线共有桥涵建筑物 1999 座，平均每公里达 3 座之多。

对桥梁型式起决定作用的梁部结构，在当时已能制造和架设 16 公尺以下的钢筋混凝土 T 形梁，这在成都附近平坦地区，河流宽而不深，路堤不高的地带架设桥梁，是一种最合理的型式；而这种梁的主要优点，如道碴桥面，适合于修建位于高

宝成铁路修建桥梁涵洞建筑物统计表

表 1

项 别	大 中		小		桥		涵		梁 架
	全 段	每公里	全 段	每公里	全段 T 梁	每公里	全段 拱	每公里	
段 别	座/长度 (公尺)	座/长度 (公尺)	座/长度 (公尺)	座/长度 (公尺)	全段 T 梁	每公里	全段 拱	每公里	分类 座数
宝成铁路	—	—	—	—	—	—	—	—	—
宝 凤	25/ 2,140.03	0.27/23.03	81	48 18 15	68/ 972.06	0.73/10.46	70	43	20 7
凤 凰	11/ 1,045.77	0.20/18.65	46	23 — 23	45/ 577.53	0.80/10.30	46	19 25 2	91 1.62 69 8 14
黄 上	64/ 5,935.82	0.32/30.01	284	236 24 24	408/ 6,020.75	2.06/30.44	416	130 191 95	270 1.36 196 53 21
上 绵	46/ 3,835.31	0.23/18.87	185	174 6 5	216/ 2,765.97	1.06/13.61	229	74 119 36	339 1.67 293 1 42
绵 成	15/ 2,014.11	0.13/17.05	122	122 — —	97/ 1,450.68	0.82/12.28	115	50 63 2	180 1.52 82 20 78
全 线	161/14,971.04	0.24/22.41	718	603 48 67	836/11,812.72	1.25/17.68	878	317 419 142	1,002 1.50 732 100 170

其中：(1)全線最长的桥梁，

①渭河大桥，402.88公尺，12孔×32公尺，

②洛江大桥，371.48公尺，17孔×15.8公尺+2孔×44公尺，

③鸭子河大桥，347.56公尺，21孔×15.8公尺，

④白水河大桥，333.78公尺，12孔×16公尺+3孔×44公尺，

(2)全線最大跨度的石拱，①松栎坡大桥，121.40公尺，2孔×38公尺，

②小关渡中桥，78.86公尺，1孔×38公尺。

坡急灣緩路上的桥梁，又把这种型式广泛使用在佔全綫大部分長度的山岳地区，所以鋼筋混凝土T形梁桥，就佔了很大比重，在全部大中桥718孔中，这一种型式就有603孔，成为宝成铁路桥梁的主要型式。石拱桥，由中跨度到大跨度，成功地修成了目前跨度最大的38公尺的石拱，在宝成铁路修建过程中石拱的修建技术有很大的發展，成为一种值得注意的桥跨型式。鋼桁梁或鋼钣梁，原则上是不得已而用之，宝成铁路用过44公尺鋼桁梁、32公尺鋼钣梁及24公尺鋼钣梁等三种，大部分用在跨越渭河及嘉陵江等較大河流上。小桥的型式，除鋼筋混凝土T形梁外，还大量采用了鋼筋混凝土版梁，来适应孔徑小、路基低的条件。涵管中自从有了拱涵分节砌筑的方法以后，基底的不同沉落不至于引起开裂，基底的条件放宽了，于是这一种有利于节约鋼材和就地取材的型式，得到了很大發展，成了涵洞的主要建筑型式，有石砌的或混凝土灌筑的，佔全部涵管座数的80%左右。鋼筋混凝土的盖板箱涵仅在最初采用，广元以北就根本不用了；鋼筋混凝土圆管是另一种主要型式，但没有很大發展。以上是宝成铁路桥涵型式的大概情况，其中大跨度石拱桥，在修建中有較大的成就。

桥涵建筑的載重标准，鋼梁結構采用中—22級，石拱桥、鋼筋混凝土梁及圬工墩台一律用中—26級；石拱涵用苏联定型圖，載重标准为H—8級，一般較高于中华26級。桥梁的跨度和型式，一般根据对孔徑的要求，桥的高度和基础条件，作出經济比較方案，再考虑施工条件，才最后决定，大致情况，已如上述。

鋼梁用于跨越的河流較大，河槽寬，流向不稳定，或洪水时大量携带漂浮物，如西汉水匯入嘉陵江处，流木帶枝叶根干，其最大尺寸达 6×20 公尺，要求較大跨度，以利宣洩而避免局部淤积和冲刷；同时鋼筋混凝土梁还达不到这种跨度，大跨度石拱桥又無适应的地基，至于选择鋼梁的跨度，主要是考虑了基础工程的大小，經過全桥造价的經济比較而决定的；还适当的照顧到减少基础工程量以保証工期，或考虑場地限制，为了减少架桥的困难而采用較小的鋼梁。要求跨度較小的桥梁，凡不适宜采用拱桥型式的，一律采用了大小不同的鋼筋混凝土T形梁。已經設計的拱桥，有的也由于工期紧迫，改用了鋼筋混凝土T形梁。

选用石拱桥，主要是本着就地取材的原則，凡有拱石料場，桥址附近有施工場地，桥基有良好岩層可供利用，并在施工期限上允許者，尽量采用了石砌拱桥。在秦嶺高坡展綫地段的深溝高桥，从地形地質，架桥和运轉等方面的特殊要求，規定了石拱桥为唯一合宜的桥跨型式。如深20~50公尺的深溝，最好用單孔或數孔大跨度桥梁；桥头連接或逼近隧道，最好桥梁能就地建造，以避免架桥的困难；溝岸及溝底显露着良好的岩層，花崗岩料石产量丰富；坡度大，列車运轉經常使暢，要求有道碴桥面等等，这些要求，只有石拱桥可以满足。因此秦嶺地区，石拱桥比較集中。但修建石拱桥圬工量大、开采石料费时、用劳动力多，因此工期也長，今后应否大量采用是应当考虑的。由于在現阶段大量采用石拱桥对节约鋼材和水泥具有重大意义，对修建技术及运营的特殊要求也較有利，初步認為石拱桥在有修建的条件下还是可以大量采用的，掌握了基底土壤情况、地形适宜决定可予采用时，必須

就地有够用的合格石料、有足够的劳动力、工期允許、并经过经济比較，在施工操作上今后更应进一步地向加速提高机械化程度努力。

桥墩台除采用定型設計外，在与河道斜交的桥上采用了斜置尖端桥墩和圆形桥墩，施工中証明圆形桥墩簡單适用，可以普遍应用于流向不定或斜交的桥梁；在旱桥無水流冲刷的桥墩，采用了方形。方形桥墩有如下优点：①比長方形桥墩节省23到33% 圬工，②四面边坡一致，砌筑方便，③基坑开挖数量較少，④基础压力較小，⑤墩身断面横向尺寸較窄，对于基岩陡坡地基墩身高度可以較小，墩身断面纵向尺寸較大，墩帽相应較寬，便于架桥及檢查，⑥断面尺寸相同时，对地震抗震性較好。

圆形和方形桥墩由于抵抗地震的性能較好，成为山区桥梁中高桥、旱桥建筑中一种比較适当的型式，而得到發展。在桥台設計中，为了适应山区特点，避免在陡坡上修高桥台，圬工量过于龐大，并防止滑走，曾采用了帶洞桥台和联合式桥台及巨頂埋置式桥台。

桥涵基础，主要采用扩大基础，把基础建筑在岩層上或沙夾卵石層上，由于創造性的推广了更換土壤以改良基底的方法，遇到基底承载力不足，或良好基底埋藏較深时，亦能采用扩大基础，以避免樁基或更深的开挖，而节约了大量工程。在宝成铁路开工以前，对沙夾卵石層的承载力考虑不够，成綫段設計时，在沙夾卵石層上普遍采用了木樁基础，只是在施工过程中遇到了打不下樁的困难后，通过实地試驗，才確認沙夾卵石層可能提供良好的基底，并修改了設計；由此提出了用沙夾卵石作基础垫層的方法，来更換不合格的基底土壤这一創造性的建議；但更換土壤虽主要用沙夾卵石，也还有其他处理方法。在安乐河大桥墩基中，由于情况特殊，采用了水泥漿膠結土壤的办法来加强承载力，还是創举。

扩大基础适合于無水或入水不深的基础，基础入水虽較深，而土壤紧密，渗水少，又無大量坍塌时，亦可采用；在深达五、六公尺以上而土壤渗水量較大时，就采用鋼筋混凝土重型沉井，下沉到良好基底。在成綫段平坦地区，遇河床土壤顆粒小而松散，承载力不足时，采用了木樁基础，在安乐河和大巴口大桥，有一部分桥墩还采用了实心方形的鋼筋混凝土樁，都用錘击下沉。宝成铁路沒有采用鋼筋混凝土管樁或高樁承台作桥梁基础。

与大量采用扩大基础相适应，桥涵基础施工普遍采用了明挖。明挖施工的有利条件是基坑無水、少水或土壤紧密，渗水量小，基坑不深，出土可用人力。其优越性在于只需抽水机械，或根本不需机械，可以迅速施工，充分利用季节性河流的枯水时期。其次，只需簡易的挡土設備，节省鋼筋、水泥等材料，成本低廉。但違反了上述有利条件时是不适宜的，在基坑較深，渗水量大的桥基采用明挖，其結果是需要大量抽水机械，抽水費用大，工人水中作業有害健康，进度滞緩，甚至由于抽水量赶不上渗水量而徹底失敗。此外，在有冲刷現象的河床上采用明挖施工，其結果是破坏了河床土壤的原有結構，在桥下造成了易被冲刷的弱点，助長洪水的威胁；因此，在这种情况下，应采取善后措施，設法加强基坑回填土壤的稳定性。

桥涵工程的实施，在宝成铁路有較好的条件。綫路大部分通过山区，岩層埋藏不深，河道比較稳定，这对处理桥基和安排桥位上有不少便利；成綿段平坦地区，河床大多由沙夾卵石冲积而成，虽河道多不稳定，但经过勘测选定，不难得到河槽稳定、适合于建桥的位置。在建筑材料方面，沿綫随地可取得合格的沙石。在劳动力方面，四川的大队石工提供了巨大的力量。在党的正确领导和苏联专家的无私帮助下，設計、施工密切結合，在工作中取得了巨大的成績。

成績当然不是輕易取得的。設計單位在开始成綿段勘测設計时，甚至沒有桥涵專業来負責勘测設計工作，不必說地質專業和水文專業了。当时，大桥由选綫分队長勘定桥位，中小桥涵及有关水位的資料，則由水平組附帶調查記錄。由于設計人員对水文地質的知識太少，选定桥位，尤其是旱桥时，多从綫路順直与否来考虑，很少考虑选出合理的桥位和佈置桥头引綫。大桥桥位选择不当的如安昌江大桥，遺留下的問題还有待进一步解决。至于小桥涵位置的选择，外業測量人員一旦确定，內業人員無从在大比例尺圖紙上进行研究，加以改善，且以地質水文資料不够，在施工过程中，大部分小桥涵皆須变更位置，变更孔徑或增減座数，廢棄了不少挖基工程，延誤了进度。这个情况到了宝略段設計勘测时，就大大改变了。設計單位除了指定桥涵設計人員参加实地調查勘测，正规的进行了工点地質勘探和調查外，还成立專業水文組，負責收集桥涵水文資料。经过全面施工的查对和1956~1957年雨季暴雨的考驗，大中桥中由于基础地質資料不符而应变更設計者佔24%；小桥涵中由于水文資料不符而应变更孔徑者仅3座，佔桥涵数的0.6%。虽然設計变更还相当普遍，資料的取得和处理也还有缺点，但总的來說，工作水平有了很大的提高。

在修建过程中，1954年及1956年都有洪水暴雨，給了桥涵工程考驗的机会，使桥涵建筑出現了一些病害和缺点。这些病害和缺点有的及时得到了处理，有的还待研究处理。当然考驗是長时期的，今后在使用和养护中，必須密切注意各种变化，随时采取措施，才能保证建筑物良好的使用。

大桥設計除上述安昌江外，尚有渭河大桥及白水河大桥，在1954年及1955年洪水时期，發生了問題。当时多有建議增加桥孔，以增大桥下排洪量的；后经反复查考，肯定桥孔是够的，問題在于設計时缺乏整体性，考虑得不够全面。安昌江大桥的問題，主要由于沒有考虑桥址下游边堆山突出江心，阻挡洪流，使右岸桥孔失去暢流的条件，因而全桥排洪能力打了一个很大的折扣。白水河大桥的問題，主要由于当时沒有对辽闊的河床給予适当处理，主河槽搖摆不定，洪水时期可能造成集中冲刷，威胁桥梁的安全；但在完工后，所受洪水威胁，尚未达严重的程度，只是由于水文資料不够充分，現場三單位就同意加長10孔16公尺桥梁，并进行施工准备，动手拆除桥头路基护坡工程，幸而經苏联专家沙布里同志的指导，作了正确的勘査，加以研究后，肯定不須增加桥孔，从而阻止了更大的浪费；在同一大桥施工中，决定采用16万元的临时性改河工程，事先只作了一个不完全的經濟比較，事后爭論了几年之久，至今对于这些問題，如改河是不是必要？不改河能不能用圉堰

进行明挖？可能性、經濟性、工期能不能进行比较？根据施工組織来看，工期是否提前了？如果提前了，有多大的經濟效果？等等，或者是缺乏肯定的答案，或者是缺乏資料。总之，現場單位作出如上的决定，在技术經濟上缺乏認真研究，不能說是有充分科学根据的，这样的事例还有，应该从中吸取教訓。渭河大桥經受1954年相当于50年周期洪水的考驗，桥梁本身良好，但浪头达到墩頂，桥北1公里長的路基受到威胁，最后冲断路基30公尺，以致水淹宝鸡市的河灘市区，損害严重，影响不好；事后，修复了路基，地方上对沿河加固了堤防和导流工程，但几年来無大水考驗，桥梁孔徑仍屬应予研究的问题，在国家驗收交付使用时，特別提出建議責成原設計單位研究解决。

山区修建铁路桥涵，絕大部份跨越干溝或山边小水溝，这些溝，深而狭窄，縱坡較陡，山洪暴發时，往往夾帶大量泥沙石块下来，对建筑物威胁很大。在选择桥涵型式时，必須掌握全面的水文地質資料，包括施工中可能改变的情况，如棄碴堆积，或采石开道影响山洪流石的程度，进行慎重的考虑。經驗証明，有流石的溝，对12公尺孔徑的小桥，在桥高不足时，堵塞的威胁还很大，只有采用谷架桥是最好的措施。沒有显著流石現象的溝設置涵管时，应尽量作到順溝順坡，方向与縱坡的改变都足以形成淤积，进出洞口还得修一些急流槽，以保証宣洩暢利。沿大河的涵管必須考虑倒灌水給予的影响，应就本溪及倒灌的流量、流速、水位加以研究，以移位抬高涵底或加大孔徑等方面解决之。在几条天然水溝距离相近，考虑用改溝或利用天溝引水，合併設涵时，必須注意改溝所經地面地質良好，不須大量鋪砌工程，同时不至为地面泥沙流入而造成淤塞；如地質不良，鋪砌工程繁重，又不能防止淤塞时，即不应合併。宝略段併溝設涵的建筑，大部份發生了引溝崩塌淤塞，而威胁路基安全的情况，經過处理，有些合併了的涵管重新增設，到竣工时基本上是一溝一桥涵。只有全面地考虑到暴雨时期綫路安全的重要和反工重建的浪費，才能作到經濟合理。

沿綫較大河流都缺少多年观测的水文資料，設計时注意了这个问题，采用多方調查和形态測量結果核對的办法，經過几年来的考驗証实，采用的数据都有一定程度的准确性。三渡水中桥的墩基，在設計中根据改河后的水文情况定出深度，其中已完工的2、3号墩在洪水期間被冲歪斜，最后放棄又另建一个新2号墩，并改变桥孔布置。这两个桥墩的被冲坏，主要由于对溝流冲刷深度估計不足，因而下基不够深；同时，当时改河虽已完成，路基及防护工程尚未开工，嘉陵江一部分主流由改河处直冲，对路堤位置冲开一条槽，在桥址上游与三渡水洪水合流通过桥址，这股水大大超过了設計流量，因而更加剧了冲刷程度，使桥墩遭到破坏，当时水流情况如附圖1。三渡水中桥的教訓，首先是設計中不仅应从水文資料算出冲刷深度，还得估計洪水时溝流的情况，采取必要的措施；其次，在施工安排上，尤其在施工改变河道地形的地段，必須全面的安排各个工点，不仅做到互不干扰，还得做到互相配合，以防止意外的損失。在天然水溝上建筑小桥涵，一般实测了匯水面积，用苏联柏氏公式計算流量。暴雨强度公式开始采用苏联欧洲中部地区的，由此得出

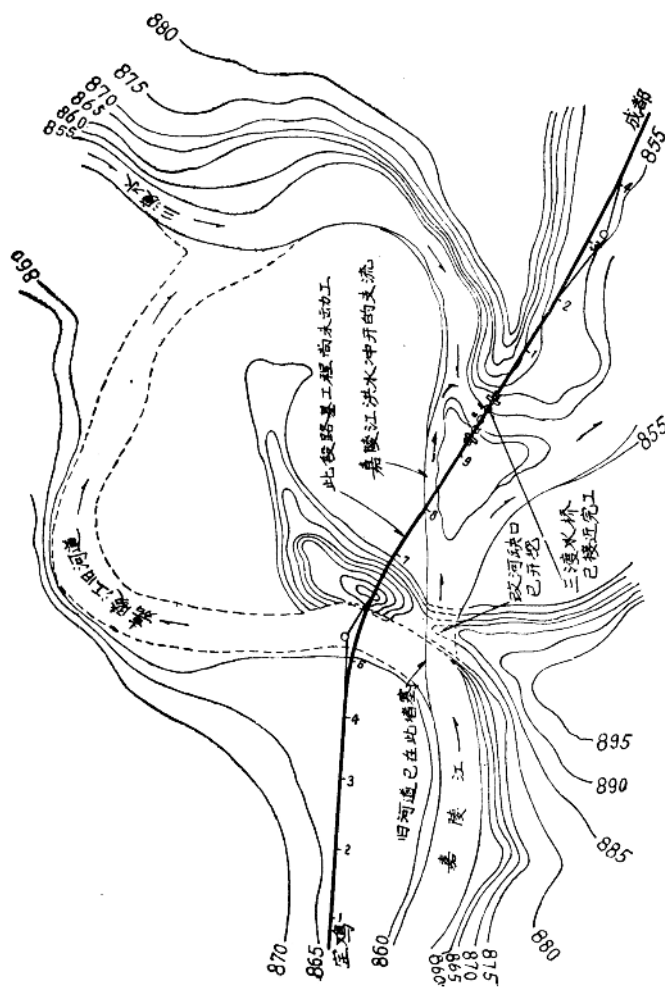


图 1. 三渡水桥水害发生时嘉陵江与三渡水的水流示意图