

渠道冬季的工作特点

В. Н. 卡尔诺维奇
〔苏〕 В. Д. 诺沃热宁 著
Е. А. 斯米尔诺夫

王 升 译 卢九渊 校



水利电力出版社

内 容 提 要

本书综合了苏联寒冷气候区一些终年运用渠道的设计和运用经验。书中论述了渠道在冬季运用时，由于冰的形成和雪的堆积而造成冰害的预测方法，并提供了渠道和渠系建筑物在冬季条件下的设计计算资料，叙述了保证这些建筑物安全运用应采取的工程措施。

本书可供水利工程及城镇供水的设计、施工和管理人员阅读。

10/10/10

前 言

根据1986~1990年以及2000年前,苏联经济和社会发展的主要方向,在进一步发展水利建设的同时,要提高水利建设的技术水平、工程质量,以及对水资源在地区上重新分配的科学论证。从而,已制订了将北方河流的部分径流调入伏尔加流域,把伏尔加河水调入顿河和库班河以及首先修建多瑙河—第聂伯河运河等工程计划。

修建上述调水工程需要解决一系列复杂的技术问题,其中包括这些建筑物在冬季条件下运用的可靠性。

为了保证工业用水、大工业中心和城市的居民用水,以及改善河流的卫生条件,已陆续修建了莫斯科—伏尔加、北顿涅茨—顿巴斯、第聂伯—克里沃伊罗格、伏尔加—依万诺沃、额尔齐斯—卡拉干达、第聂伯—顿巴斯等运河。供水渠道全年运用,并受工业和居民在全年过程中较均匀用水所制约,因此,它不同于灌溉渠道。但有水力发电任务的灌溉渠道和所有发电引水渠道,则冬季也同样工作。

几乎所有已建渠道都位于冬季有 0°C 以下低气温,强烈的冷风和有丰富降雪的地区。有些地区,当暴风雪时可以看到积雪大量移动。所有这些会因水源和渠中水温过低而形成水内冰、冰花和雪酱。当这些冰形成物沿渠移动时会堵塞拦污建筑物和设备,并在渠道中形成冰塞,从而造成中断供水的危险。当大量的雪移动时,在渠道的深挖方段会形成积雪。这也是建筑物和渠道失事的原因。

对全年运用的渠道,就要求研究冬季状态下建筑物的特

殊结构措施，如倒虹吸首部、引水建筑物、节制闸、扬水站和水电站的进水口首部等。对冬季敞露的渠段，还应研究专门的水力学状态，并应制订管理措施。这样就会减少渠道冬季运用的困难，并能提高保证供水的可靠性。

分析研究上述列举的措施是基于已建工程的运用经验。这些工程有近似的天然气候条件和其他计算条件。但是，各个渠道的工程组成、水力学状态及综合布局等都很不一样，其中包括在渠系中有水库和有特殊的自然条件。这些都会影响渠道的温度状态。因此，对于尚未建成的工程的冬季运用条件，是难以预料的。可以肯定，所有全年运用的渠道，特别是在运用的初期，都会在冬季遇到这样或那样的困难，使渠道供水和水电建筑物的管理复杂化。

最近十年在我国起主导作用的水电工程，都位于我国不同寒冷地区，如在我国欧洲部分、东西伯利亚、远东、北部边疆区。这就使得我们必须研究水库和建筑物下游河段的温情过程。多次原型观测成果和理论分析成果在很多专业著作中都有论述，例如，本书的参考文献〔9〕。这些成果为我国水工建筑冬季运用条件的分析研究，奠定了基础。这项工作是在克里茨基、门克尔和罗辛斯基领导下进行的。他们三人在关于水库、河流、渠道的冬季热量状态的共同著作中，论述并首次推荐了水电站引水渠道热量状态和冰情状态的预报方法。后来发表的关于水库、河流、渠道冰温条件的文章，都只涉及到渠道冬季运用的个别问题，如确定冬季渠道的过水能力、冰盖的参数以及其他分析成果。

但是，对渠道冬季冰温状态的研究，不论在深度和广度上都还不够。显然，这种状况是受渠道——天然水道的特殊情况所限制，而从事冰温过程领域的研究者，也没有注意到

自己需要解决的专门问题。只有在不久以前，用于工业供水的全年运用的渠道修建和运用以后，才阐明了研究渠道冰温的必要性。

作者认为，缺少冰温学问题方面的论著和缺少已建渠道运用经验的全面总结，其原因之一是对全年工作的渠道温度状态和冰情状态注意得不够。这首先是设计者们注意得不够。这就使得修建渠道时，渠道建筑物冬季运用的一些重要因素没有考虑，从而降低渠道冬季供水的可靠性。

近年来为了研究如何防止渠道冬季运用的困难，以及应采取的措施和制订专门的管理办法，全苏水利科学研究院、国立水工设计院、乌克兰水利工程学院、哈萨克水利科学研究院、莫斯科水利土壤改良研究所和管理单位一起，利用了几个冬天，对北顿涅茨—顿巴斯渠、额尔齐斯—卡拉干达渠和大斯塔夫罗波尔渠渠首段等一些正在运用的大型渠道，进行了冰热状态的综合性观测研究。这些观测成果的分析 and 总结，为制订有效的结构措施，管理制度措施和其他运用措施奠定了基础。完成这些措施可以改善渠道的冬季运用条件和提高渠道冬季工作的可靠性。

作者通过对大量的系统的不同渠道运用条件的实际资料进行研究分析，得到了许多经验。又由于作者直接参加了一些渠道的设计和研究工作，这就使得本书所阐明和论述的关于渠道设计和运用的理论具有足够的可信性。利用本书中介绍的内容，可以比较正确地预报设计渠道的冬季运用状态，并能够论证必须的结构措施。渠道设计时应满足本书中提到的一些要求。

本书中推荐了渠道温度状态的计算方法，渠道热量段参数的计算和冰盖形成的过程，以及渠中形成冰花量和冰厚的

计算；还介绍了冰盖下渠道过水能力的计算；渠床积雪量的计算及其预防措施。限于本书的篇幅，作者在书中只引用了产生温情过程和在渠中形成这样或那样冰情条件所必须的资料。同时，为了完成上述列举的计算内容，书中还介绍了足够的材料。对利用数学关系得出的理论结论有兴趣的读者，可以参考其他专著，这些专著在本书的叙述中都已指出。本书中谈到的温度过程和冰情条件只发生在渠道中，在这种情况下由水源处来水的水温，可以认为是已知的。

本书对从事北方河流和西伯利亚河流调水，对保证国家新兴工业区用水进行大型渠道规划设计的技术人员能起到有益的作用。对从事渠道管理的人员也有裨益。

作者感谢科学技术博士、教授什捷列里赫特对本书评阅所作的很高评价，并感谢科学技术副博士奥列霍夫对本书编辑和出版给予的帮助。

对本书的希望、指正请寄动力核能出版社，地址：113114，莫斯科，М-114，Шлюзовая наб., 10。

作者

目 录

前 言

第一章 寒冷地区渠道的布置特点及其运用	1
第一节 渠道的布置特点	1
第二节 渠道冬季运用的设计状态	10
第二章 大斯塔夫罗波尔渠冬季工作状态的 观测分析	16
第三章 气温不稳定地区渠道的冬季运用	26
第一节 北顿涅茨—顿巴斯渠和大斯塔夫罗波尔 渠的冬季状态	26
第二节 水电站引水渠的冬季运用	33
第四章 额尔齐斯—卡拉干达渠的冬季运用	41
第一节 渠道积雪	41
第二节 渠中清沟形成的原因及其预防措施	43
第五章 渠道冰温计算的建议	49
第一节 渠道冰情特点	49
第二节 渠道温度状态计算	50
第三节 冰花流量和冰厚的计算	58
第四节 渠道过水能力计算	59
第五节 渠道积雪计算	61
第六章 考虑冰温状态的渠道设计	64
第一节 关于渠道设计的建议	64
第二节 关于渠道建筑物设计的建议	67
第三节 防止渠道积雪措施	69
第七章 渠道的冬季运用	74

第一节 封冻渠道的冬季运用.....	74
第二节 不封冻渠道的冬季运用.....	75
结尾.....	78
附录 1 拦污栅电加热计算.....	80
附录 2 减弱冰冻结的护面.....	83
附录 3 АСШ-3冰花信号器.....	84
参考文献.....	88

第一章 寒冷地区渠道的布置特点及其运用

第一节 渠道的布置特点

大斯塔夫罗波尔渠和北顿涅茨—顿巴斯渠位于不稳定的冬季气候区。额尔齐斯—卡拉干达渠位于北哈萨克斯坦和中哈萨克斯坦典型大陆性气候区（图1）。该区冬季严寒并经常形成雪堆。北顿涅茨—顿巴斯渠和额尔齐斯—卡拉干达渠的特点是由多级扬水站的有压渠线组成，而大斯塔夫罗波尔渠的特点是由多级水电站的压力引水渠组成（图2）。渠道的基本参数列于表1，沿渠线地区的主要气象特征值列于表2。

北顿涅茨—顿巴斯渠（图3），由北顿涅茨河引水，靠低坝从河道直接引水入渠。为增加冬季枯水季节的流量而进行的径流调节，可大大增加取水量，而水库不影响渠道的温度状态。北顿涅茨—顿巴斯渠总长约130 km，由四座扬水站将顿涅茨河水扬高200 m。沿渠纵向可分成五个特征段：河滩地段，从取水枢纽至№1扬水站间，长约9 km；第一扬水段，在№1扬水站和№2扬水站之间，长约7 km；接下去为第二、第三和第四扬水段，各段长度分别为59 km、47 km和11 km。渠道的末端为顿涅茨克市附近的上卡勒米乌斯克水库。渠道通过强烈的地形起伏区，因此，渠线中有大量倒虹吸。扬水站的压力管道很长，个别渠段为封闭的钢筋混凝土断面。渠道开敞段总长110 km，封闭段总长30 km。

冬季运用时，№1、№2扬水站之间的渠段和№3、№4扬水站之间的渠段最易出问题。这两段渠长106 km，其中开敞段

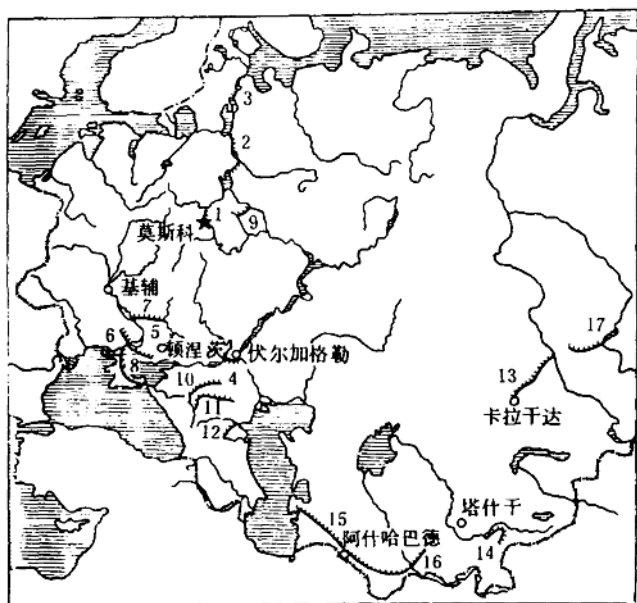


图 1 苏联大型输水渠道分布示意图

1—莫斯科运河；2—列宁伏尔加—波罗的斯克运河；3—白海—波罗的斯克运河；4—列宁伏尔加—顿斯克运河；5—北顿涅茨—顿巴斯运河；6—第聂伯—克里沃伊罗格运河；7—第聂伯—顿巴斯运河；8—北克里米运河；9—伏尔加—乌沃季运河；10—涅维诺梅斯克运河；11—大斯塔夫罗波尔运河；12—捷勒斯科—库姆运河；13—额尔齐斯—卡拉干达运河；14—费尔干纳运河；15—卡拉库姆运河；16—卡拉伸斯克运河；17—库伦达运河

长77.3km。封闭段渠道为倒虹和压力管道。压力管道为金属管和钢筋混凝土圆管，直径为2.8m和2.2m。有的封闭段为钢筋混凝土结构的矩形断面。最长封闭段为№3扬水站的压力管道和通过热列兹峡谷的倒虹吸，压力管道长5.9km，倒虹吸长10.6km。渠道的封闭段将其开敞段分成2~23km长的几段。较长的开敞段又被节制闸或放水建筑物分成10km长

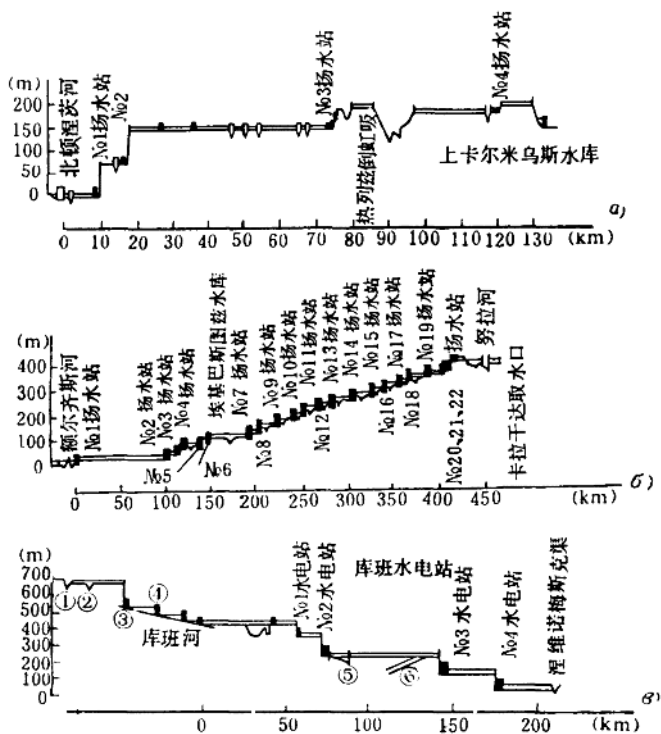


图 2 渠道纵断面图

a) 北顿涅茨—顿巴斯渠; б) 额尔齐斯—卡拉干达渠; в) 大斯塔夫罗波尔渠 (首部渠段)

1—Б.泽留秋克河; 2—М.泽留秋克河; 3—泽留秋克水电站; 4—克拉斯诺格勒斯克水电站; 5—库班水库; 6—大斯塔夫罗波尔渠

的渠段。倒虹吸和扬水站的压力管道,以及其他的封闭渠段,对渠中水的温情状态影响不大。

沿北顿涅茨—顿巴斯渠线没有一座水库,渠道的温情状态决定于冬季的气象条件和水流的水力学参数。

额尔齐斯—卡拉干达渠(图 4),由额尔齐斯河的支流



图 3 北顿涅茨—顿巴斯渠

1 ~ 1 — 扬水站；5 ~ 11 — 倒虹吸；
12 ~ 14 — 节制闸

—白河引水。白河流经额尔齐斯河左岸谷地，是额尔齐斯河主河道的分支。洪水时额尔齐斯河和白河围成的岛被淹没。岛直线长约50km，宽2~4km，白河河道长90km。原来曾考虑了从白河引水入渠。后来采用了在第一扬水站的轴线上，从额尔齐斯河直接取水的渠首方案。渠线长458km，其中173km长的渠道通过略有起伏的平原区和沿额尔齐斯河洼地。渠线的其余部分通过哈萨克斯坦的丘陵区，首先沿什捷勒塔河上游河谷，通过分水岭(428km)后入努拉河河谷(445km)。接着水流通过倒虹吸，沿努拉河进入萨马尔卡德水库。萨马尔卡德水库是为捷米勒塔屋市供水而修建。尔后水再送入其他用水部门，其中包括正在修建

中的努拉—萨雷苏渠。努拉—萨雷苏渠也属于额尔齐斯河供水系统。该渠用于向卡拉干达区供水。由额尔齐斯河向热兹卡兹加市供水的线路长1100km。从额尔齐斯河到分水岭通过22座扬水站把水抬高418m。各扬水站的供水能力为14~21m³/s，平均供水能力为17.5m³/s。

在额尔齐斯—卡拉干达渠的水工建筑物总体布置中，除

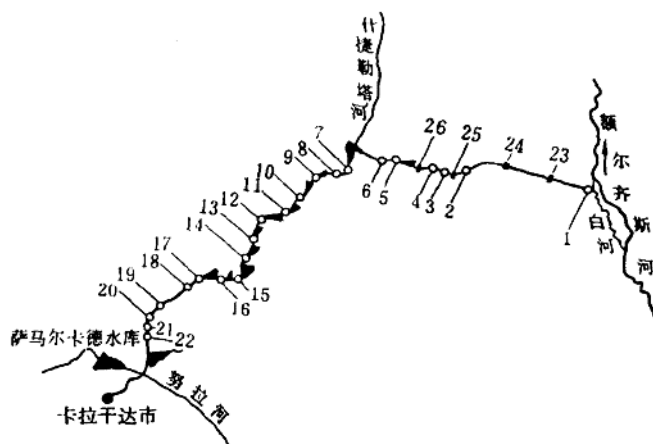


图 4 额尔齐斯—卡拉干达渠

1 ~ 22—扬水站；23 ~ 26—节制闸

扬水站外，还有33处单独渠段，14座水库，以及泄水建筑物、放水建筑物、跌水、倒虹吸和节制闸。№1和№2扬水站间的渠段最长，为103km，这一渠段被两座节制闸分成三部分。14座水库中一座是白河上的壅水水库，二座蓄水水库，沿什捷勒塔河上游有十座沿渠布置的供水水库，还有一座什捷勒塔河径流调节水库。大多数水库深20m，有一座水库深达30m。这些水库的总库容为8亿 m^3 ，库水面积为205 km^2 。

选定渠线时无法避开深挖方段。深挖方段从地面到渠道设计水位挖深15~17m，这样的深挖方段在每座扬水站前都有。从水位起挖深5~15m的渠段有三处：两处在滨河镇（154~158km和167~173km，扬水站№6）；另一处在什捷勒塔河和努拉河分水岭的转折处（417~423km处）。各地边缘高地渠段的挖深，在水位以上3~5m，这种渠段在渠线上有

多处。

额尔齐斯—卡拉干达渠设计和施工时都考虑了中哈萨克斯坦用水需要的发展前景。目前，额尔齐斯—卡拉干达渠尚未达到设计能力。渠道冬季的平均流量为 $14 \sim 15 \text{ m}^3/\text{s}$ （冬季流量设计值为 $46 \text{ m}^3/\text{s}$ ）。由于一些原因，扬水站的工作不均衡。这样，就使渠道的个别地段和水库中的水位发生变动，其温度状态也发生变化。

大斯塔夫罗波尔渠首部渠段（图5）和巴勒苏齐科泄水渠，总长约180km，是由库班河引水，用于灌溉、发电的综合性工程。渠首建筑物包括 3000 万 m^3 的一座水库。首部渠段长47km，计算过水能力为 $180 \text{ m}^3/\text{s}$ 。库班河冬季枯水时渠段的流量可能减小到 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ 。其渠道流量靠库容为5.0亿 m^3 的库班水库调节。库班水库以下干渠的过水能力有些减少，为 $150 \text{ m}^3/\text{s}$ 。在60km和80km之间的干渠段上有两座库勒沙夫梯级水电站，总装机容量为22万kW。该水力发电站是利用天然落差的引水式电站，其总落差为170m。第一座水电站（№1）用渠道日常水量运行。第二座水电站（№2）为日调节水电站。为此，在第二座水电站的上、下游修建了具有同样库容（200万 m^3 ）的日调节池和水库。其下游渠段在灌溉的支渠处终止，长约53km。超过大斯塔夫罗波尔渠灌溉需要的多余水量沿巴勒苏齐科泄水渠排入涅维诺梅渠。在巴勒苏齐科泄水渠上有相同名称的库勒沙夫两座梯级水电站。总装机容量为16万kW。这个梯级水电站也如前面提到的第一个梯级水电站一样，利用约为115m的天然落差进行发电。水电站上、下游也有日调节池和调节水库。

冬季，库班水库以下干渠中的水量，取决于水电站保证出力所必须的水量。沿渠的冬季水量储蓄到反调节水库中，

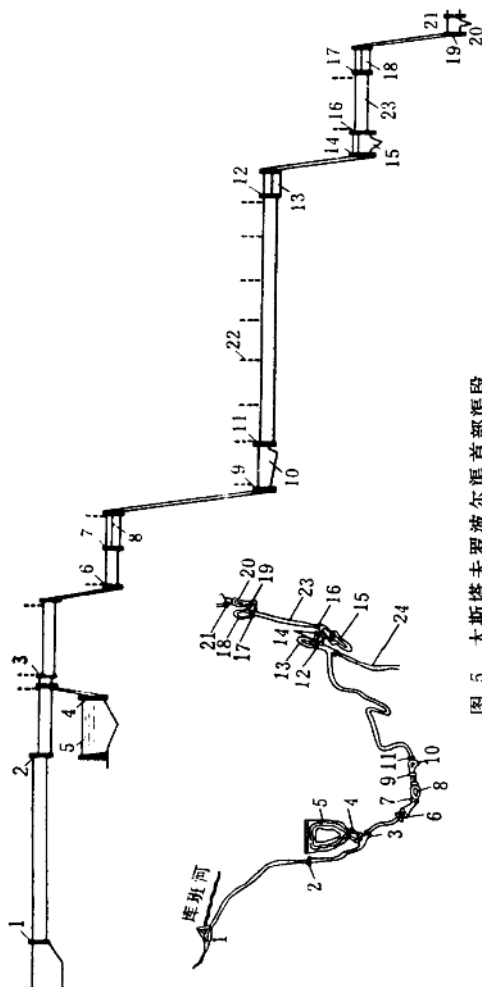


图 5 大斯塔夫罗波尔首部渠段

1—渠道首部枢纽；2—№0节制闸；3—№1节制闸；4—扬水站；5—库班水库；6—№1水电站；7—№2节制闸；8—№2水电站日调节池；9—№2水电站调节水库；10—№3节制闸；11—№3水电站日调节池；12—№3水电站调节水库；13—№3水电站调节水库；14—№3水电站调节水库；15—№3水电站调节水库；16—№3水电站调节水库；17—№3水电站调节水库；18—№3水电站调节水库；19—№3水电站调节水库；20—№3水电站调节水库；21—涅维诺斯塔夫水电站取水工程；22—观测断面；23—巴勒苏齐科渠；24—大斯塔夫罗波尔灌溉渠

这些反调节水库位于灌溉系统内部。实际上，库班水库以及日调节池和调节水库对大斯塔夫罗波尔渠水流温情状态的变化都有影响。

从前面渠道的简要叙述中可以看出，渠道有很长的开敞段和大量的水工建筑物。大斯塔夫罗波尔渠的首部渠段，特别是卡拉干达渠，特点是渠道开敞段同调节水库交替布置。渠道的这种布置特点影响着渠道的水力学状态和温情状态。

表 1

指 标	北 顿 涅 茨 —顿巴斯渠	额 尔 齐 斯— 卡拉干达渠	大斯塔夫 罗波尔渠
完工年代	1959	1974	1967
设计流量, m^3/s			
夏季	43	75	150
冬季	20	46	40
渠道材料	土渠, 混凝土	土渠	土渠
开敞段渠底纵坡	1×10^{-4}	6.4×10^{-5}	1.5×10^{-4}
渠道上口宽, m	25	40	56
水深, m			
夏季	5	6	5.1
冬季	3	3	3
断面平均计算流速, m/s			
夏季	0.7	0.5	0.8
冬季	0.4	0.5	0.5
计算冰厚, m	0.4	1.3	0.3

表 2

指 标	秋 一 冬 期						全年
	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
北 顿 涅 茨—顿 巴 斯 渠							
气温, °C							
年平均							8
实测最低值							-39
月平均	8.6	1.2	-3.7	-6.4	-5.8	-0.6	
月绝对最低气温	-17	-22	-28	-35	-36	-26	
风速, m/s							
年平均							3.8
月平均	3.3	3.9	4.6	4.3	5.0	4.6	
实测最大值	20	28	34	20	34	34	
降水量, mm							
全年							500
月平均	31	37	38	30	24	30	
额 尔 齐 斯—卡 拉 干 达 渠							
气温, °C							
年平均							1.9
实测最低值							-49
月平均	3.2	7.6	-15.0	-17.9	-17.2	-10.5	
月绝对最低气温	-27	-40	-46	-47	-44	-38	
风速, m/s							
年平均							5.5
月平均	5.4	5.7	5.8	5.6	5.4	6.0	
实测最大值	37	34	34	34	34	40	
降水量, mm							
全年							260
月平均	20	20	18	12	10	14	
雪移动量, m ³ /s							1300